

Entwicklung und Diagnostik von Arbeitsgedächtnis und Inhibition

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie an der
Fakultät für Psychologie und Pädagogik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von Sven Lars Hilbert

München, 2012

Betreuer der Dissertation:

Erstgutachter: Prof. Dr. Markus Bühner

Zweitgutachter: Prof. Dr. Moritz Heene

Datum der mündlichen Prüfung: 14. Januar 2013

Vorwort

Ich danke

- Markus, für seine immense Unterstützung und sein unerschütterliches Vertrauen in meine Arbeit. Ohne seine Lockerheit und sein Verständnis wäre ich wahrscheinlich nie zur Wissenschaft gekommen und ohne die fast schon künstlerische Freiheit, die er mir in meinem Schaffen gewährt, wäre ich niemals motiviert genug gewesen, meine Arbeit in dieser Zeit fertigzustellen. Außerdem würde ich ohne seine Fähigkeit zur nanosekündigen Entscheidungsfindung wahrscheinlich noch immer an der Versuchsplanung sitzen.
- Moritz, mir ein Beispiel zu sein, wie viel Wert es hat, auch im Universitätsbetrieb Geist und Prinzipien zu bewahren.
- PD Dr. Heumann, für die spontane Bereitschaft an meiner Prüfung teilzunehmen.
- Tristan, für Unzählbares, von Micheladas bis Heisenberg. Und das Korrekturlesen. Und gute Musik.
- Prof. Dr. Zihl, dessen Erfahrung und Kreativität die Experimente der zweiten Studie möglich gemacht haben.
- Meinen Eltern für das Korrekturlesen und die Nachsicht bei Vernachlässigung meiner familiären Ordnungspflichten während der Schreibphase.
- Isabella, Johannes, Manu und Paddy für die Unterstützung bei der Datenerhebung.
- Allen anderen, die mir mit Kaffee, Pausen, Gesprächen, Bier und etlichem mehr die Arbeit so angenehm wie möglich gemacht haben und die bei Weitem zu viele sind um hier aufgelistet werden zu können.

Zur besseren Lesbarkeit beschränke ich mich in dieser Arbeit sprachlich auf die männliche Form personenbezogener Substantive. Dies impliziert keine Benachteiligung weiblicher Personen, sondern dient allein der sprachlichen Vereinfachung. Jede Referenz zu Versuchsleitern und Versuchspersonen beinhaltet selbstverständlich ebenfalls Versuchsleiterinnen und Probandinnen.

Zusammenfassung

Die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten stellt sowohl historisch als auch aktuell eines der breitesten und lebendigsten psychologischen Forschungsfelder dar. Besonders bezüglich der (Alters-) Differenzierungshypothese, welche die Ausdifferenzierung kognitiver Fähigkeiten mit fortschreitendem Alter postuliert, weisen die durchgeführten Studien jedoch eine beachtliche Heterogenität in ihren Befunden auf. Die Diagnostik kognitiver Fähigkeiten hängt untrennbar mit den vorausgesetzten Modellen und eingesetzten diagnostischen Verfahren zusammen, welche den Befunden hinsichtlich ihrer Heterogenität in nichts nachstehen. Die gegenwärtige Arbeit zeigt, dass im Grundschulalter bei der Entwicklung von Inhibitionsfähigkeit, Arbeitsgedächtniskapazität und Reasoningfähigkeit keine Ausdifferenzierung im Sinne sinkender Korrelationen zu beobachten ist (Studie I). Eine Analyse möglicher Prädiktoren der Mathematiknote zeigt zudem, dass in der zweiten Klasse Arbeitsgedächtniskapazität die beste Vorhersage liefert, während Reasoningfähigkeit in der dritten und vierten Klasse den einzig relevanten Prädiktor darstellt. Diese Ergebnisse sind konform mit den Schwerpunkten des Mathematikunterrichts in den jeweiligen Klassenstufen. In einer anschließenden Studie (Studie II) zur Diagnostik der Arbeitsgedächtniskapazität mittels der Zahlenspanne Rückwärts wird gezeigt, dass sowohl visuelle als auch verbale kognitive Strategien zur Bearbeitung der Aufgabe eingesetzt werden können, welche sich nicht durch die Präsentationsmodalität der Aufgabe beeinflussen lassen müssen. Dieser Befund liefert wichtige Implikationen zur Einordnung verschiedener widersprüchlicher Ergebnisse in der Arbeitsgedächtnisdiagnostik und der klinischen Diagnostik. In einer Studie (Studie III) zur Diagnostik der Inhibitionsfähigkeit werden die beim klassischen Stroop Test involvierten kognitiven Subprozesse untersucht und durch Einsatz eines räumlichen Stroop Paradigmas die verbale Komponente des Stroop Phänomens isoliert. Zudem wird gezeigt, dass Interferenz zwar durch positionsinkongruente Richtungswörter konstruiert werden kann, die Position-Wort-Interferenz jedoch schwächer als die klassische Farbe-Wort-Interferenz ausfällt. Zusammengenommen zeigt die Serie der drei Studien, dass wissenschaftliche Ergebnisse zur Diagnostik kognitiver Fähigkeiten einen Großteil ihrer Aussagekraft einbüßen, wenn die involvierten kognitiven Teilprozesse nicht berücksichtigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Zusammenfassung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Einführung	1
1 Studie I: Entwicklung von Arbeitsgedächtnis und Inhibition	5
1.1 Einführung Studie I.....	5
1.1.1 Differenzierungshypothese	5
1.1.2 Kognitive Fähigkeiten und Mathematikleistung.....	8
1.2 Methoden Studie I.....	10
1.2.1 Stichprobe	10
1.2.2 Material	10
1.2.3 Durchführung	12
1.2.4 Analyse	13
1.3 Ergebnisse Studie I.....	14
1.3.1 Unterschiede zwischen den Altersgruppen.....	14
1.3.2 Analyse der Korrelationen kognitiver Fähigkeiten.....	16
1.3.3 Prädiktoren der Mathematiknote	18
1.4 Diskussion Studie I.....	20
1.4.1 Korrelationen zwischen Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition.....	20
1.4.2 Leistungsunterschiede zwischen den Altersgruppen.....	20
1.4.3 Untersuchung der Differenzierungshypothese.....	22
1.4.4 Prädiktoren der Mathematiknote	24
1.4.5 Einschränkungen und Ausblick	25
1.4.6 Fazit	26
2 Studie II: Die Rolle kognitiver Strategien bei der Zahlenspanne Rückwärts	27
2.1 Einleitung Studie II	27
2.2 Methoden Studie II	35
2.2.1 Stichprobe	35
2.2.2 Material	35
2.2.2.1 Reasoningdiagnostik	35
2.2.2.2 Arbeitsgedächtnisdiagnostik	36
2.2.2.3 Diagnostik kognitiver Strategien	37
2.2.3 Durchführung	38
2.2.4 Analyse	39
2.3 Ergebnisse Studie II	41

2.3.1	Stichprobe	41
2.3.2	Kognitive Strategien	42
2.3.3	Zahlenspanne Rückwärts.....	42
2.3.3.1	Akustische vs. optische Präsentation	42
2.3.3.2	Single- vs. Dual-Task	43
2.3.3.3	Verbalisierer vs. Visualisierer	43
2.3.4	Arbeitsgedächtnis und Reasoning	45
2.4	Diskussion Studie II.....	47
2.4.1	Verbalisierer und Visualisierer: Arbeitsgedächtnis und Reasoning.....	47
2.4.2	Kognitive Strategien bei der Zahlenspanne Rückwärts	49
2.4.3	Einschränkungen und Ausblick	52
2.4.4	Fazit	52
3	Studie III: Eine Untersuchung des räumlichen Stroop Phänomens.....	54
3.1	Einführung Studie III.....	54
3.1.1	Der Stroop Effekt.....	54
3.1.2	Variationen des Stroop Tests.....	56
3.2	Methoden Studie III	60
3.2.1	Stichprobe	60
3.2.2	Material	60
3.2.2.1	Farbe Stroop Test	60
3.2.2.2	Analoger Position Stroop Test	61
3.2.2.3	Digitaler Position Stroop Test	62
3.2.3	Durchführung	63
3.2.4	Analyse	64
	Ergebnisse Studie III	67
3.2.5	Stichprobe	67
3.2.6	Farbe-Wort Interferenztest	67
3.2.7	Analoger Position-Wort Interferenztest	68
3.2.8	Digitaler Position-Wort Interferenztest	69
3.2.9	Vergleich analoger Position-Wort und Farbe-Wort Interferenztest	69
3.3	Diskussion Studie III.....	70
3.3.1	Farbe-Wort und Position-Wort Interferenztest	70
3.3.2	Vergleich verbaler und manueller Responses	73
3.3.3	Einschränkungen und Ausblick	74
3.3.4	Fazit	75
4	Abschließende Diskussion	77
	Literatur.....	81
	Appendix A: Fragebogen kognitiver Strategien.....	90
	Appendix B: Materialien Differenzierungshypothese	92
	Appendix C: Fragebogen Position Stroop.....	102

Appendix D: Stroop Testverfahren.....	103
Appendix E: Tests auf Normalverteilung und Sphärizität.....	107

Einführung

Die vorliegende Arbeit untersucht Struktur, Entwicklung und Diagnostik kognitiver Fähigkeiten in einer Reihe von drei Studien mit dem Fokus auf Arbeitsgedächtnis und Inhibition.

In der ersten Studie (Studie I) wird die Entwicklung von Arbeitsgedächtnis und Inhibition während der Grundschulzeit untersucht. Zusätzlich wird die Rolle von Reasoning¹ und dessen Zusammenhang mit Arbeitsgedächtnis und Inhibition analysiert, da Reasoning mit diesen beiden Fähigkeiten eng verbunden ist (e.g. Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Houdé, 2000; Passolunghi & Siegel, 2001). Im Kontext der Differenzierungshypothese, die eine Ausdifferenzierung kognitiver Fähigkeiten mit fortschreitendem Alter postuliert, werden die Zusammenhänge dieser Fähigkeiten in Form von Korrelationen bei Kindern zwischen sechs und zwölf Jahren in drei verschiedenen Klassenstufen untersucht und verglichen. Zudem wird analysiert, welche der drei Fähigkeiten die Mathematiknote in welcher Klassenstufe am besten vorhersagt.

Da kognitive Fähigkeiten eng miteinander verbunden sind (siehe hierzu beispielsweise Kyllonen & Christal, 1990), ist ihre Definition schwierig, häufig uneinheitlich und schließlich stark von den Verfahren abhängig, welche für die Diagnostik der jeweiligen Fähigkeit eingesetzt werden. Im Anschluss an die Frage der Korrelationen zwischen den Testergebnissen für Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition werden im klinischen Kontext standardmäßig

¹ Reasoning stellt einen Teil der Intelligenz (Schmidt-Atzert, Bühner & Enders, 2006) dar, welcher im Deutschen synonym als „schlussfolgerndes Denken“ bezeichnet wird.

² Der von Spearman (1926) verwendete Begriff der „generellen Intelligenz“ stellt im Lichte des

eingesetzte diagnostische Verfahren zur Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität und der Inhibitionsfähigkeit untersucht. Es wird hierbei experimentell analysiert, welche kognitiven (Sub-)Prozesse bei der Aufgabenbearbeitung der jeweiligen Verfahren involviert sind und in welcher Form sie sich auf das Testergebnis auswirken.

Die zweite Studie (Studie II) beschäftigt sich mit verschiedenen kognitiven Strategien bei der Arbeitsgedächtnisnutzung und den daraus resultierenden Implikationen für die neuropsychologische Diagnostik. Besonders wird die Nutzung kognitiver Strategien bei der Bearbeitung der Aufgabe „Zahlenspanne Rückwärts“ untersucht, welche ein Standardverfahren zur Diagnostik der Arbeitskapazität in der klinischen Neuropsychologie ist (siehe Ramsay & Reynolds, 1995). Es wird im Speziellen die Rolle verbaler und visueller Strategien behandelt, welche bisher bei der klinischen Arbeitsgedächtnisdiagnostik weitgehend ignoriert wurden.

Ebenso wie bei der Diagnostik des Arbeitsgedächtnisses ist die Messung der Inhibitionsfähigkeit von der vorausgesetzten Definition und dem eingesetzten diagnostischen Paradigma abhängig. Ein Test, der häufig zur Untersuchung der Differenzierungshypothese herangezogen wurde, ist der *Stroop Color-Word Task* (e.g. Comalli Jr., Wapner & Werner, 1962). Um die Funktionsweise von Reaktionsinhibition und den untrennbar mit ihrer Diagnostik verbundenen Stroop Test (Stroop, 1935) zu analysieren, wird eine dritte Studie (Studie III) durchgeführt. Um die gemessene Inhibition von der Dimension Farbe zu isolieren, werden sowohl der klassische Farbe-Wort Interferenztest als auch ein räumlicher Stroop Test eingesetzt. Zusätzlich wird eine Version des räumlichen Stroop Tests durchgeführt, bei dem die Response (Reaktion bzw.

Antwortverhalten) auf die Stimuluskonfiguration manuell gegeben wird, um den resultierenden Interferenzeffekt mit dem Effekt klassischer verbaler Response zu vergleichen und somit die Rolle der verbalen Komponente beim Stroop Effekt zu analysieren.

Wie bereits erwähnt, wurden besonders auf dem Gebiet des Arbeitsgedächtnisses eine Vielzahl einflussreicher Arbeitsgedächtnismodelle aufgestellt, welche sich teilweise bereits in ihrem grundlegenden Ansatz unterscheiden. – Mit dem Facettenmodell von Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, & Wittmann (2000), dem *Controlled Attention Framework* von Kane, Blackley, Conway und Engle (2001) oder dem Mehrkomponentenmodell von Baddeley und Hitch (1974) seien hier nur einige genannt. Auf alle existierenden Modelle des Arbeitsgedächtnisses einzugehen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb in jeder der Studien ein passender theoretischer Rahmen gegeben wird, in dem die jeweiligen Hypothesen untersucht und die Ergebnisse diskutiert werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass neben den hier diskutierten Modellen noch eine Vielfalt alternativer theoretischer Ansätze in der Literatur zu finden sind, welche zum Beispiel bei Miyake und Shah (1999) in einem umfassenden Überblick behandelt werden.

Die präsentierten Studien werden zunächst in die bestehende Literatur eingeordnet, um die Fragestellung im Licht des gegenwärtigen Forschungsstandes herzuleiten. Alle eingesetzten Methoden – inklusive des Versuchsablaufs – werden beschrieben und Beispiele der eingesetzten Materialien im Appendix abgebildet. Eingesetzte statistische Verfahren werden unter den gegebenen Voraussetzungen für deren Anwendung durchgeführt. Variablen, bei denen die Voraussetzungen (beispielsweise hinsichtlich der

Datenverteilung) nicht erfüllt sind, werden im Einzelnen diskutiert und alternative Analysemethoden herangezogen beziehungsweise eine Durchführung trotz Voraussetzungsverletzung begründet. Die in den Diskussionsteilen der jeweiligen Experimente beschriebenen Effekte beziehen sich stets auf durchschnittliche Unterschiede. Der sprachlichen Einfachheit halber wird allerdings nicht jedes Mal im Einzelnen darauf hingewiesen, dass es sich um statistische Kennwerte handelt, die nur im Sinne des Gruppenmittels zu verstehen sind.

Im Anschluss an den Ergebnisbericht werden die Resultate der Studie im Kontext des aktuellen Forschungsstandes diskutiert und in die der jeweiligen Einleitung hergeleitete Fragestellungen behandelt.

1 Studie I: Entwicklung von Arbeitsgedächtnis und Inhibition

1.1 Einführung Studie I

Kognitive Fähigkeiten, wie Inhibition, Arbeitsgedächtnis und Reasoning sind so eng miteinander verknüpft, dass einige Autoren vermuteten, Arbeitsgedächtnis und Reasoning möchten gar fast identisch sein (e.g. Kyllonen & Christal, 1990). Jaeggi, Buschkuhl, Jonides und Perrig (2008) konnten sogar eine Leistungssteigerung in der fluiden Intelligenz (Reasoning) durch Training des Arbeitsgedächtnisses feststellen. Aufgrund dieser engen Verbindungen zwischen verschiedenen kognitiven Fähigkeiten beschäftigt sich ein breites Forschungsfeld mit der Frage nach der zeitlichen Dynamik dieser Zusammenhänge. Eine klassische Theorie stellt die Differenzierungshypothese dar, welche im Folgenden skizziert wird.

1.1.1 Differenzierungshypothese

Die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten und deren Verbindungen, wie die von Arbeitsgedächtnis mitsamt seiner individuellen Komponenten und Reasoning, ist der Gegenstand intensiver Forschung, seit Spearman (1926) vermutete, dass der Einfluss „genereller Intelligenz“² auf Leistungen bei kognitiven Tests für leistungsschwache Testpersonen größer wäre als für leistungsstarke. Spearmans Hypothese wurde zu der Annahme erweitert, dass Reasoning mit steigendem Alter für einen immer kleineren Varianzanteil in

² Der von Spearman (1926) verwendete Begriff der „generellen Intelligenz“ stellt im Lichte des aktuellen Standes der Forschung eine unscharfe Bezeichnung dar und wird im Folgenden mit den zeitgemäßen Begriffen „Reasoning“ oder „schlussfolgerndes Denken“ beschrieben.

Leistungstests verantwortlich ist (Garrett, 1946). Dementsprechend sollten differenziertere kognitive Fähigkeiten wie Arbeitsgedächtniskapazität oder Inhibition für mehr interpersonelle Varianz verantwortlich sein und die Korrelationen zwischen diesen Fähigkeiten mit steigendem Alter sinken. Die beschriebene Erweiterung wurde unter dem Namen „Differenzierungshypothese“³ bekannt und in einer Vielzahl von Studien untersucht (e.g. Juan-Espinosa, Colom & Abad, 2000; Der & Deary, 2003; Tideman & Gustafsson, 2004; Facon, 2006), jedoch mit insgesamt widersprüchlichen Ergebnissen. Insbesondere frühe Studien (e.g. Asch, 1936; Garrett, 1946; Filella, 1960), aber auch aktuellere Untersuchungen (Der & Deary, 2003; Tideman & Gustafson, 2004) unterstützen die Differenzierungshypothese, wohingegen einige Autoren gegensätzliche (e.g. O’Grady, 1990; Juan-Espinosa, Colom & Abad, 2000) und wieder andere uneindeutige (Facon 2006; Tucker-Drob, 2009) Ergebnisse berichteten. Da die Differenzierungshypothese über die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts als weitgehend gesichert galt und erst gegen die Jahrtausendwende durch neue Paradigmen und Analysemethoden kritisch überprüft wurde, konzentriert sich die vorliegende Studie I auf die aktuellen Forschungsergebnisse (1990 bis 2012).

Weil die Studien hinsichtlich der verwendeten Tests, der mit Sprachverständnis verbundenen Aspekte und vor allem der untersuchten Altersgruppen sehr heterogen sind, bestehen auf diesem Forschungsfeld noch zahlreiche ungeklärte Zusammenhänge und widersprüchliche Annahmen,

³ In der Literatur findet sich neben der hier behandelten „Altersdifferenzierungshypothese“ auch eine Differenzierungshypothese, welche sich auf Zusammenhänge zwischen der Höhe des Intelligenzquotienten und der Leistung in kognitiven Tests beruft (e.g. Detterman & Daniel, 1989). In der vorliegenden Studie I bezieht sich der Begriff „Differenzierungshypothese“ jedoch ausschließlich auf die „Altersdifferenzierungshypothese“.

welche weiterer Untersuchung bedürfen. Auch sind trotz der einheitlich postulierten Annahme, dass eine Ausdifferenzierung kognitiver Fähigkeiten mit steigendem Alter durch sinkende Korrelationen zwischen den Testleistungen widergespiegelt würde (Der & Deary, 2003; Tideman & Gustafson, 2003), gravierende Unterschiede in Art und Anzahl der einbezogenen Fähigkeiten zu erkennen. Die mögliche Ausdifferenzierung wurde jedoch wahlweise zwischen zwei globalen Faktoren verschiedener Untertests (Tideman & Gustafsson, 2003; O'Grady, 1990), IQ-Score und Reaktionszeit (Der & Deary, 2003) oder im Hinblick auf verschiedene Facetten fluiden Intelligenz (Juan-Espinosa et al., 2000) untersucht.

Die untersuchte Altersspanne ist ein weiterer wichtiger Faktor für die Aussagekraft der Untersuchungen, welche allerdings zwischen den Untersuchungen stark differiert: Während Tideman und Gustafsson (2003) Kinder zwischen drei und sieben Jahren untersuchten, betrug die Altersspanne der Studie von Der und Deary (2003) 15 bis 55 Jahre, wobei die Ergebnisse beider Studien die Differenzierungshypothese unterstützen. Juan-Espinosa et al. (2000) und Deary et al. (1995) hingegen stützen ihre der Differenzierungshypothese widersprechenden Resultate auf Stichproben mit einer Altersspanne von 4 bis 16 respektive 14 bis 16 Jahren, welche größtenteils in dem Zeitraum zwischen den ältesten Versuchspersonen der Stichprobe von Tideman und Gustafsson und den jüngsten Versuchspersonen jener von Der und Deary liegen. Diese offensichtliche Heterogenität bezüglich Stichprobenzusammensetzungen und methodischer sowie diagnostischer Herangehensweisen zeigt sehr deutlich, dass zur Überprüfung der Differenzierungshypothese noch umfassende Forschung benötigt wird.

1.1.2 Kognitive Fähigkeiten und Mathematikleistung

Die Beziehung zwischen kognitiven Fähigkeiten und mathematischer Leistungsfähigkeit ist ein weiteres großes Forschungsfeld. Besonders die Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtniskapazität, Reasoning und Mathematikleistung ist in einer Vielzahl von Studien untersucht worden (siehe Raghubar, Barnes & Hecht, 2010, für einen Überblick). Es ist bekannt, dass Mathematikleistung insbesondere mit der Arbeitsgedächtniskapazität verknüpft ist (Siegel & Ryan, 1989; Wilson & Swanson, 2001; Bull, Espy & Wiebe, 2008), doch bestehen auch Verbindungen zu anderen kognitiven Fähigkeiten wie Reasoning (Blackwell, Trzesniewski & Dweck, 2007; Cerda, Ortega, Pérez, Flores, & Melipillán, 2011) und Inhibition (Bull & Scerif, 2001). Eines der Probleme bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Mathematikleistung und kognitiven Fähigkeiten liegt in der Natur der eingesetzten Tests. In experimentellen Studien verwendete Mathematiktests haben normalerweise wenig mit gewöhnlichen „Stift-und-Papier-Tests“ gemein, denen sich Erwachsene und besonders Kinder jeden Tag stellen müssen (Raghubar et al., 2010).

Die vorliegende Studie I hingegen nutzt Schulnoten im Fach Mathematik, um die Beziehung zwischen Arbeitsgedächtnis, Reasoning, Inhibition und Mathematikleistung zu untersuchen. Auf diesem Wege kann die kognitive Entwicklung während der Grundschulzeit mit der Leistung in schulischen Mathematikaufgaben in Beziehung gesetzt und, aufgrund der aus drei verschiedenen Klassenstufen bestehenden Stichprobe, die Vorhersagekraft verschiedener kognitiver Fähigkeiten für die Mathematiknote zwischen verschiedenen Altersstufen verglichen werden.

Es wird erwartet, dass die untersuchten kognitiven Fähigkeiten untereinander korrelieren und insgesamt einen Beitrag zur Vorhersage der Mathematiknote leisten. Um diese Hypothesen und die offenen Fragen hinsichtlich der Differenzierung der Fähigkeiten zu untersuchen, wird eine Querschnittsuntersuchung mit Kindern dreier verschiedener Schulstufen durchgeführt.

1.2 Methoden Studie I

1.2.1 Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 244 österreichischen Schulkindern im Alter von acht bis zwölf Jahren. Für die Testung wurden Kinder der zweiten, dritten und vierten Klasse ausgewählt. Die drei Gruppen bestanden jeweils aus etwa derselben Anzahl Kinder und die Gruppen setzten sich ungefähr zu je der Hälfte aus Jungen und Mädchen zusammen. Eine Übersicht der Stichprobenzusammensetzung ist in *Tabelle 2.1* abgebildet. Einige Kinder mussten nach den Sommerferien getestet werden, weshalb in der ältesten Gruppe ein paar Kinder zum Testzeitpunkt bereits in eine weiterführende Schule gewechselt hatten. Alle Schulen befinden sich in der Umgebung von Graz in Österreich. Für die Teilnahme an der Studie erhielten die Kinder Süßigkeiten; zudem wurden unter allen teilnehmenden Kindern Brettspiele verlost.

1.2.2 Material

Reasoning wurde mittels der Standard Progressive Matrices (SPM; Raven, Raven & Court, 2000) erhoben. Der Test, bei dem die Testpersonen Matrizen auf Basis visueller Muster komplettieren müssen, gilt als stabiles Maß für Reasoning (Conway, Cowan, Bunting, Theriault & Minkoff, 2002).

Arbeitsgedächtniskapazität wurde mit einem unveröffentlichten Arbeitsgedächtnistest (AGT) für Kinder erhoben, welcher von Bühner (unveröffentlicht) entwickelt wurde. Der Test stellt eine Adaptation der figuralen Dual-Task Aufgaben zu „*Storage and Processing*“ in Oberauer et al. (2003) für Kinder dar. Die Aufgabe der Kinder bestand darin, ein für

Tabelle 2.1: Stichprobe Studie I

Klassenstufe	Geschlecht		M(sd)	Alter	
	weiblich	männlich		Min	Max
2. Klasse	37	50	8.55(.45)	7	9
3. Klasse	44	38	9.82(.61)	8	12
4. Klasse	42	33	10.66(.48)	9	12

M = Mittelwert, sd = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum

30 Sekunden präsentierte Muster verschiedener „Smileys“ zu behalten und nach einer Zwischenfrage wiederzugeben. Das Muster der Smileys bestand aus einer 3 x 3 Matrix, in welcher bis zu zwei Smileys in den Zellen eingezeichnet waren. Gewertet wurden die Smileys, welche die Kinder wieder an die richtige Stelle in die Matrix eingetragen hatten, nachdem sie die Zwischenfragen⁴ beantwortet hatten. Jedes richtig eingetragene Smiley wurde mit einem Punkt gewertet, falsch eingetragene Smiley mit einem Minuspunkt. Eine Aufgabe konnte insgesamt allerdings nicht weniger als null Punkte geben. Die Zwischenfragen wurden durch Ankreuzen eines auf dem Antwortblatt abgedruckten nach oben („richtig“) oder unten („falsch“) zeigenden Daumen beantwortet. Sie dienten nur als Distraktionsaufgabe und gingen, wie bei Arbeitsgedächtnisaufgaben dieser Form üblich, (Daneman & Carpenter, 1980; Oberauer, Süß, Wilhelm & Wittman, 2003), nicht in die Analyse ein.

Der figurale Teil des Tests zur Messung von exekutiver Kontrolle/Konzentration (TEMEKKO; Bühner & Schmidt-Atzert, unveröffentlicht)

⁴ Die Zwischenfragen standen nicht in Beziehung zu der Anzahl an Smileys. Beispielhafte Fragen sind: „Waren auf dem Blatt fröhliche Gesichter zu sehen?“ oder „War ein Gesicht größer als die anderen?“.

wurde zur Messung der Inhibitionsfähigkeit⁵ eingesetzt. Der Test besteht aus zeilenweise angeordneten Kästen mit verschiedenen Balkenreihen. Jeder Kasten enthält drei Balken. Die Balken unterscheiden sich hinsichtlich Höhe, Farbe und Breite. Die Aufgabe besteht darin, jene Kästen zu markieren, in denen die Balken eine auf- oder absteigende Reihe aufweisen. Der Test besteht aus zwei Testbögen mit jeweils 190 Items (Balkenreihen). Alle anderen Dimensionen als die Länge der Balken dienen lediglich zur Distraction. Die Teilnehmer haben zwei Minuten Bearbeitungszeit pro Seite. Inhibition wird in dem Sinne gemessen, dass nur auf die Größe der Balken reagiert werden darf, wobei diese sich allerdings auch hinsichtlich ihrer Farbe, Höhe und Breite unterscheiden, welche irrelevante beziehungsweise irreführende Stimulusinformationen darstellen und somit unterdrückt werden müssen.

Die Schulnoten der Kinder wurden von ihren Eltern in dafür vorgesehene Fragebögen eingetragen und von den jeweiligen Lehrern kontrolliert.

Beispiele für die verwendeten Testaufgaben sowie die eingesetzten Fragebogen sind in *Appendix B: Materialien Differenzierungshypothese* enthalten.

1.2.3 Durchführung

Die Kinder wurden in ihren Klassenzimmern unter vergleichbaren Bedingungen in Klassengruppen getestet. Zunächst wurde Reasoningfähigkeit erhoben und im Anschluss, nach einer Pause von zehn Minuten, Arbeitsgedächtniskapazität sowie Inhibitionsfähigkeit.

⁵ Wie der Name des Tests bereits vermuten lässt, wird hier im strengen Sinne Konzentration beziehungsweise exekutive Kontrolle erhoben, weil die Bearbeitungszeit beim TEMEKKO begrenzt ist und sich Konzentration eigentlich durch die Speed-Komponente von Inhibition unterscheidet. Da der Begriff Konzentration in der englischsprachigen Literatur allerdings nicht existiert, wird hier zum Vergleich mit internationalen Studien der Einfachheit halber schlicht der Begriff „Inhibition“ verwendet.

1.2.4 Analyse

Die Korrelationen wurden durch *Fisher-Transformationen* in Z-Werte überführt, um auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Beziehungen zwischen Reasoning, Arbeitsgedächtniskapazität und Inhibitionsfähigkeit zu prüfen. Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Testleistungen der drei Gruppen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalysen ohne Messwiederholung untersucht und *Post-Hoc t-Tests* wurden angewendet, um zu bestimmen, welche der Altersgruppen sich unterscheiden. Alle Testungen wurden zweiseitig durchgeführt, es sei denn eine einseitige Testung ist explizit angegeben. Um mögliche Prädiktoren der Mathematiknote zu finden, wurden generalisierte lineare Modelle mit bedingter Verteilung Gaußscher Form für alle drei Altersgruppen einzeln berechnet. Alle Variablen wurden per *Kolmogorov-Smirnoff* Test auf Normalverteilung überprüft. Effektstärken sind in *punkt-biserialen* Korrelationen (r_{PB}) beziehungsweise η^2 angegeben. Wenn notwendig wurde der Fehler erster Art via *Bonferroni-Holmes*-Korrektur auf ein α -Niveau von $p = .05$ angepasst.

1.3 Ergebnisse Studie I

Obwohl die Variable Arbeitsgedächtnis in keiner der Altersgruppen normalverteilt war, wurden Varianzanalysen berechnet, da diese bei vergleichbarer Stichprobengröße trotz Verletzung der Normalverteilungsannahme robuste Ergebnisse liefern (Bühner & Ziegler, 2009). Genauso liefern t -Tests für unabhängige Stichproben trotz Verletzung der Normalverteilungsannahme weniger verzerrte Ergebnisse als deren non-parametrische Pendanten (Kubinger, Rasch, & Moder, 2009). Eine Zusammenfassung der *Kolmogorov-Smirnoff* Tests auf Normalverteilung ist in *Appendix E: Tests auf Normalverteilung* gegeben.

1.3.1 Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Eine einfaktorielle Varianzanalyse für unabhängige Stichproben ergab einen signifikanten Unterschied in der durchschnittlichen Punktzahl im SPM zwischen den drei Altersgruppen ($F(2, 241) = 26,969$; $p < .01$; $\eta^2 = .18$). *Post-Hoc t*-Tests ergaben signifikante Unterschiede in der durchschnittlichen Reasoningleistung zwischen der dritten und vierten Klasse ($t(155) = 5.47$; $p < .001$, einseitig; $r_{PB} = .40$) sowie zwischen der zweiten und vierten ($t(160) = 6.96$; $p < .001$, einseitig; $r_{PB} = .48$). Die dritte und zweite Klasse unterschieden sich im Durchschnitt nicht signifikant in ihrer Leistung im SPM ($t(167) = 1.52$; n.s., einseitig; $r_{PB} = .13$).

Die durchschnittliche Arbeitsgedächtniskapazität zeigte das erwartete Muster signifikanter Unterschiede zwischen allen Gruppen ($F(2, 241) = 10,625$; $p < .01$; $\eta^2 = .81$): Viertklässler zeigten eine bessere durchschnittliche Behaltens-

Tabelle 2.2: Testleistung nach Klassenstufen

	TEMEKKO		AGT		SPM	
KS	M(sd)	Span	M(sd)	Span	M(sd)	Span
2.	26.83(8.22)	2–54	5.21(1.67)	1–8	29.41(7.87)	6–45
3.	30.98(7.57)	15–58	5.80(1.84)	1–8	31.22(7.57)	10–46
4.	35.80(7.61)	2060	6.61(1.45)	1–8	37.54(6.86)	22–50

KS = Klassenstufe, M = Mittelwert, sd = Standardabweichung, Span = Wertebereich (Minimum – Maximum)

leistung als Dritt- ($t(155) = 3.04$; $p < .01$; einseitig; $r_{PB} = .24$) und Zweitklässler ($t(160) = 5.64$; $p < .01$; einseitig; $r_{PB} = .41$). Auch waren Drittklässler Zweitklässlern darin überlegen ($t(167) = 2.17$; $p < .05$; einseitig; $r_{PB} = .31$).

Ebenso unterschieden sich die durchschnittlichen Leistungen im TEMEKKO signifikant zwischen den drei Gruppen ($F(2,241) = 26,525$; $p < .01$; $\eta^2 = .18$). *Post-hoc* Vergleiche zeigten außerdem, dass alle drei Gruppen auch einzeln signifikant in ihrer durchschnittlichen Leistungen voneinander abwichen: Drittklässler zeigten im Schnitt schlechtere Leistungen als Viertklässler ($t(155) = 3.98$; $p < .01$, einseitig; $r_{PB} = .30$) und Zweitklässler zeigten schlechtere durchschnittliche Leistungen als Dritt- ($t(167) = 3.41$; $p < .01$, einseitig; $r_{PB} = .25$) oder Viertklässler ($t(160) = 7.17$; $p < .01$, einseitig; $r_{PB} = .49$).

Alle *Post-Hoc t*-Tests wurden per *Bonferroni*-Korrektur für drei multiple Vergleiche auf ein Alpha-Niveau von $p = .05$ korrigiert. Die exakten Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Gruppen sind in *Tabelle 2.2* abgebildet. Die Varianzen der Gruppen unterschieden sich für keine Variable mit Ausnahme der Arbeitsgedächtnisvarianz zwischen dritter und vierter Klasse.

Tabelle 2.3: Korrelationen kognitiver Fähigkeiten nach Klassen

Schulstufe	Tests	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
2. Klasse	SPM – AGT	87	.37	< .001
2. Klasse	SPM – TEMEKKO	87	.37	< .01
2. Klasse	AGT – TEMEKKO	87	.38	< .001
3. Klasse	SPM – AGT	82	.57	< .001
3. Klasse	SPM – TEMEKKO	82	.19	< .05
3. Klasse	AGT – TEMEKKO	82	.23	< .05
4. Klasse	SPM – AGT	75	.39	< .01
4. Klasse	SPM – TEMEKKO	75	.44	< .01
4. Klasse	AGT – TEMEKKO	75	.25	< .05

r = Produkt-Moment Korrelation nach Pearson; *p* = Überschreitungswahrscheinlichkeit (einseitig, *Bonferroni-Holmes* korrigiert für drei Vergleiche); SPM = Reasoningtest; AGT = Arbeitsgedächtnistest; TEMEKKO = Inhibitionstest

Um dem Rechnung zu tragen, wurde hier ein *Welch-Test* an Stelle des klassischen *t*-Tests durchgeführt.

1.3.2 Analyse der Korrelationen kognitiver Fähigkeiten

Die Korrelationen zwischen Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition für alle drei Altersgruppen sind in *Tabelle 2.3* abgebildet. Wie erwartet korrelierten Reasoningfähigkeit, Arbeitsgedächtniskapazität und Inhibitionsfähigkeit in allen drei Schulstufen signifikant positiv miteinander. Die Korrelationen befinden sich nach den Konventionen von Cohen (1988) im moderaten bis hohen Bereich.

Tabelle 2.4: *Fisher-transformierte* Korrelationsdifferenzen

Schulstufen	Tests	<i>q</i>	<i>z</i>
2 – 3	SPM – AGT	.26	1.65
2 – 3	SPM – TEMEKKO	.20	1.25
2 – 3	AGT – TEMEKKO	.17	1.05
2 – 4	SPM – AGT	.02	.14
2 – 4	SPM – TEMEKKO	.08	.52
2 – 4	AGT – TEMEKKO	.14	.90
3 – 4	SPM – AGT	.23	1.44
3 – 4	SPM – TEMEKKO	.28	1.71
3 – 4	AGT – TEMEKKO	.02	.13

q = Effektstärke nach Cohen (1988); *p* = Überschreitungswahrscheinlichkeit (einseitig, *Bonferroni-Holmes* korrigiert für drei Vergleiche); SPM = Reasoningtest; AGT = Arbeitsgedächtnistest; TEMEKKO = Inhibitionstest

Um mögliche Unterschiede in der Höhe der Korrelationen zwischen den drei Gruppen zu untersuchen, wurden die Differenzen zwischen den Korrelationen via *Fisher-Transformation* in *z*-Werte überführt. Aufgrund der Bonferroni-Holmes Korrektur für drei Vergleiche, müssten die Differenzen im Bereich von $z \geq 2.40$ (unkorrigiert $z \geq 1.96$) für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von $p = .05$ liegen. Wie in *Tabelle 2.4* ersichtlich zeigten sich zwischen den drei Gruppen keinerlei Unterschiede hinsichtlich der Korrelationshöhe: Sowohl die Korrelationen zwischen den Ergebnissen in SPM und TEMEKKO als auch zwischen SPM und AGT sowie AGT und TEMEKKO variierten nicht überzufällig zwischen den drei Schulstufen.

Tabelle 2.5: Regressionsanalysen:

2. Klasse	$n = 58$	$\Phi = .36$	β	SE_{β}	t	p
Konstante			3.02	.37	8.12	< .01
TEMEKKO			.01	.01	.07	n.s.
AGT			.14	.05	2.71	< .01
SPM			.02	.01	1.61	n.s.
3. Klasse	$n = 66$	$\Phi = .69$	β	SE_{β}	t	p
Konstante			1.87	.60	3.13	< .01
TEMEKKO			.01	.02	.63	n.s.
AGT			.06	.07	.78	n.s.
SPM			.06	.02	3.15	< .01
4. Klasse	$n = 73$	$\Phi = .57$	β	SE_{β}	t	p
Konstante			2.13	.58	3.67	< .01
TEMEKKO			.00	.01	.07	n.s.
AGT			.00	.07	.04	n.s.
SPM			.06	.02	3.76	< .01

n = Stichprobengröße; Φ = Dispersionsparameter; β = (standardisierter) Regressionskoeffizient, SE_{β} = Standardfehler des Regressionskoeffizienten; t = t -Wert; p = Überschreitungsgeschwindigkeit; Konstante = Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Ordinate; SPM = Reasoningtest; AGT = Arbeitsgedächtnistest; TEMEKKO = Inhibitionstest

1.3.3 Prädiktoren der Mathematiknote

Aufgrund der schiefen Verteilung der abhängigen Variablen (Mathematiknote) konnten mit einer linearen Regression keine robusten Ergebnisse erwartet werden. Es wurden daher für jede der drei Altersgruppen individuelle generalisierte lineare Modelle berechnet. Wie in *Tabelle 2.5* zu sehen sprachen die Ergebnisse für Reasoning als besten Prädiktor der Mathematiknote in der dritten und vierten Klasse, während in der zweiten Klasse das Arbeitsgedächtnis der wichtigste Vorhersagefaktor war. Die enge

Beziehung der drei Prädiktoren wird durch den Fakt unterstrichen, dass trotz Einbeziehung aller Testergebnisse in die Analyse jeweils nur ein einzelner Prädiktor eine signifikante Vorhersagekraft zeigte, also die beiden anderen keine inkrementellen Varianzanteile mit der Mathematiknote mehr zusteueren wenn der wichtigste Prädiktor in die Analyse einbezogen wurde. Wie an der angegebenen Zahl an Beobachtungen zu erkennen, konnten einige Fälle nicht in die Analyse eingeschlossen werden, da die Eltern die Mathematiknoten nicht in ihre Fragebogen eingetragen hatten.

1.4 Diskussion Studie I

Die hier vorgestellte Studie I zeigt, dass sich die Höhe der Korrelationen von Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition sich zwischen der zweiten, dritten und vierten Klasse nicht signifikant unterscheiden. Hinsichtlich der Vorhersage der Mathematiknote konnte gezeigt werden, dass in der dritten und vierten Klasse ausschließlich Reasoning einen signifikanten Beitrag liefert, während in der zweiten Klasse nur die Arbeitsgedächtniskapazität einen signifikanten Prädiktor darstellt.

1.4.1 Korrelationen zwischen Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition

Der Befund, dass Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition in allen untersuchten Altersgruppen moderate bis hohe Korrelationen nach den Konventionen von Cohen (1988) aufweisen, steht grundsätzlich in Einklang mit der Mehrheit der Befunde der gegenwärtigen Literatur (e.g. Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Houdé, 2000; Passolunghi et al., 2001). Allerdings wurden gerade zwischen Reasoning und Arbeitsgedächtnis häufig noch stärkere Zusammenhänge berichtet (siehe Kyllonen & Christal, 1990).

1.4.2 Leistungsunterschiede zwischen den Altersgruppen

Wie erwartet zeigten Viertklässler eine signifikant bessere Leistung als Zweitklässler in allen drei untersuchten kognitiven Fähigkeiten: Sie waren ihnen in Reasoning sowie in Arbeitsgedächtniskapazität und Inhibitionsfähigkeit überlegen. Da die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses (Siegel & Ryan, 1989; Crone, Wendelken, Donohue, Van Leijenhorst & Bunge, 2006) sowie von Reasoning (Houdé, 2000) und Inhibition (McCall, 1994; Davidson, Amso,

Anderson & Diamond, 2006) monoton steigende Funktionen des Alters darstellen, ist dies kein überraschender Befund. Gleiches gilt für die Überlegenheit der Viertklässler gegenüber Drittklässlern hinsichtlich Arbeitsgedächtniskapazität und Reasoning.

Im Unterschied dazu wies Inhibition ein weniger klares Muster auf: Im TEMEKKO zeigten Drittklässler keine signifikant schlechtere Leistung als Viertklässler – allerdings auch keine bessere Leistung als Zweitklässler. Dieser Befund ist nicht durch Unterschiede in den Varianzen zu erklären, da diese sich zwischen keiner der Gruppen signifikant unterschieden. Eine mögliche Erklärung liegt in der Entwicklung der Inhibitionsfähigkeit im Kindesalter. Auch die Inhibitionsfähigkeit erreicht ihren voll-entwickelten Zustand noch nicht im Grundschulalter (Levin et al., 1991), scheint allerdings zwischen der zweiten und vierten Klasse einen weniger steilen Anstieg als Reasoningfähigkeit und Arbeitsgedächtniskapazität zu verzeichnen. Der beobachtete Anstieg in Inhibitionsfähigkeit mit steigendem Alter war deskriptiv zwar zwischen allen drei Altersgruppen zu beobachten, jedoch offensichtlich nicht stark genug, um sich bei gegebener Teststärke im Abstand von einem Jahr signifikant zu unterscheiden. In gleicher Weise könnte sich erklären, weshalb zwischen Zweit- und Drittklässlern kein signifikanter Unterschied in der Reasoningleistung beobachtet werden konnte. Auch hier wurde ein deskriptiver Unterschied beobachtet, jedoch war dieser nicht statistisch verlässlich. Sollte die Hypothese stimmen, spricht dies für eine non-lineare Entwicklung der beiden Fähigkeiten im Grundschulalter, was, wie weiter unten diskutiert, eine interessante Fragestellung für eine Längsschnittstudie bietet.

1.4.3 Untersuchung der Differenzierungshypothese

Weder die Korrelationen zwischen Reasoning und Arbeitsgedächtnis noch jene zwischen Reasoning und Inhibition oder zwischen Arbeitsgedächtnis und Inhibition zeigten zwischen den drei Altersgruppen signifikante Unterschiede in ihrer Höhe. Dieser Befund, eindeutig gegen die Differenzierungshypothese sprechend, steht im Einklang mit den Ergebnissen von Juan-Espinosa et al. (2000) und O'Grady (1990), die bei Kindern keine mit dem Alter assoziierte Änderung des Einflusses von Reasoning auf verschiedene kognitive Leistungstests fanden. Es könnte argumentiert werden, die in der aktuellen Studie I getesteten Kinder seien zu alt für beobachtbare Differenzen in den Beziehungen zwischen den kognitiven Fähigkeiten gewesen, da Tideman und Gustafsson (2004), deren Ergebnisse die Differenzierungshypothese stützen, Kinder zwischen drei und sieben Jahren untersuchten, während in vorgelegter Studie I nur Kinder zwischen acht und zwölf Jahren getestet wurden. Juan-Espinosa et al. untersuchten allerdings Kinder zwischen 4 und 16 Jahren und fanden ebenso keine Ergebnisse, welche die Differenzierungshypothese stützen könnten. Interessant ist dieses Muster besonders wegen der Altersspannen, die aktuelle Studien untersuchten, welche die Differenzierungshypothese stützen: Neben Tideman und Gustafsson, die eine jüngere Altersgruppe als die der Studie I testeten, wurde in der zweiten Studie mit differenzierungshypothesenkonformen Ergebnissen (Der & Deary, 2003) eine Stichprobe mit Versuchspersonen zwischen 15 und 55 Jahren untersucht. Die in Studie I getesteten Kinder lagen mit ihrem Alter zwischen acht und zwölf Jahren exakt in der Lücke zwischen den Altersgruppen der beiden Studien, welche ihre Ergebnisse im Sinne der Differenzierungshypothese sehen. Auf der anderen Seite lag das Alter der in

der Studie I getesteten Kinder innerhalb der von Juan-Espinosa et al. untersuchten Altersgruppe und sie bestätigt auch deren Befunde.

Da allerdings wie oben beschrieben die Stichprobe von Juan-Espinosa et al. (2000) auch die von Tideman und Gustafsson (2003) untersuchte Altersgruppe beinhaltet, müssen weitere methodische Unterschiede der betreffenden Studien beleuchtet werden. In der Studie I wurde eine Ausdifferenzierung von Inhibition, Arbeitsgedächtnis und Reasoning über das Alter hinweg untersucht. Zur Überprüfung einer möglichen Ausdifferenzierung wurden die Korrelationen zwischen diesen Fähigkeiten für drei Altersgruppen verglichen. Tideman und Gustafsson hingegen untersuchten lediglich die Veränderung der Korrelationen zwischen zwei globalen, aus vielen Untertests bestehenden Faktoren: „Verbal“ und (nonverbale) „Performance“ der *„Wechsler Preschool and Primary Scale“*. Die unterschiedlichen Ergebnisse könnten also durch Unterschiede in den untersuchten kognitiven Fähigkeiten verursacht worden sein, insbesondere durch den Fakt, dass in vorliegender Studie I lediglich nonverbale Tests eingesetzt wurden, wodurch eine Veränderung der Korrelationen zwischen verbalen Fähigkeiten nicht untersucht werden konnte. Gleiches gilt für die Studie von Der und Deary (2003), welche sich auf eine Veränderung der Korrelationen zwischen IQ-Score und Reaktionszeit bezieht. Keines der in Studie I eingesetzten Verfahren misst reine Reaktionsgeschwindigkeit, weshalb die Vergleichbarkeit mit der Studie von Der und Deary stark eingeschränkt ist. Zwar beinhaltet der TEMEKKO eine Speed-Komponente, jedoch ist diese durch die Berechnung des KL-Wertes, welcher die Fehlerzahl einbezieht, nicht alleine für die Leistung ausschlaggebend.

Abschließend ist außerdem zu bemerken, dass die hier untersuchten Aspekte Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition im Faktor „Performance“ in der Untersuchung von Tideman und Gustafsson enthalten sind, welche die Korrelationen der Faktor-bildenden Untertests zwischen den Altersstufen als „wenig systematisches Muster“ befanden.

Des Weiteren zeigen die Unterschiede in den durchschnittlichen Testleistungen, dass Zweitklässler, die Viertklässlern in allen untersuchten kognitiven Fähigkeiten unterlegen waren, als leistungsschwache Gruppe betrachtet werden können. Folglich sollte, falls, wie von Spearman (1926) angenommen, Reasoning bei leistungsschwachen Testpersonen einen stärkeren Einfluss auf die Ergebnisse kognitiver Leistungstest hätte, in Studie I eine Differenzierung zwischen den Fähigkeiten mit steigendem Alter erkennbar sein. Dies, zusammengekommen mit den gleichbleibenden Korrelationen kognitiver Fähigkeiten, zeigt also ein klares Muster, welches allerdings deutlich gegen die Differenzierungshypothese spricht.

1.4.4 Prädiktoren der Mathematiknote

In der dritten und vierten Klasse erwies sich Reasoning als einziger Prädiktor, der einen signifikanten einzigartigen Varianzanteil mit der Mathematiknote teilte. Mehrere Autoren haben über Befunde berichtet, die Arbeitsgedächtniskapazität als besten Prädiktor für die Mathematikleistung nahelegen (e.g. Bull, Espy & Wiebe, 2008), welche jedoch – wie von Raghubar et al. (2010) kritisiert – mentale Arithmetik statt alltäglich genutzte Stift-und-Papier-Mathematik als Testgröße benutzten. Da Schulaufgaben im Fachbereich Mathematik in höheren Klassenstufen aber vor allem durch Informationsorganisation sowie Erkennung bekannter Muster gelöst werden,

scheint es passend, dass Reasoningleistung, welche genau solche Fähigkeiten widerspiegelt (Blair, Gamson, Thorne, & Baker, 2005), einen besseren Leistungsprädiktor als Arbeitsgedächtniskapazität darstellt. Zusätzlich besteht in der dritten und vierten Klasse ein großer Teil des Mathematikunterrichts aus Textaufgaben, welche dann auch von der Leseleistung beeinflusst werden. Wie von Stanovich, Cunningham & Feeman (1984) gezeigt, spielt Lesen eine wichtige Rolle in der Beziehung zwischen Arbeitsgedächtnis und Reasoning.

Im Gegensatz zur dritten und vierten Klassenstufe, zeigte sich bei den Zweitklässlern die Arbeitsgedächtniskapazität als bester Prädiktor der Mathematiknote. Bei Betrachtung der gängigen Mathematikaufgaben in der zweiten Schulklasse ist auch dieser Befund gut zu interpretieren: In dieser Schulstufe lernen Schulkinder in Österreich gerade das kleine und große Einmaleins, welches simple mentale Operationen mit Zahlen erfordert. Diese Aufgabenart entspricht exakt den von Baddeley (2000) beschriebenen typischen Arbeitsgedächtnisaufgaben, welche Raghubar et al. (2010) für die häufig gefundene hohe Korrelation von Mathematikleistung und Arbeitsgedächtniskapazität verantwortlich machte. Die beobachteten Ergebnisse zeigen, wie differenziert Studien wie zum Beispiel die von Bull et al. (2008) betrachtet werden müssen, welche die schulische Leistung im Fachbereich Mathematik auf das Arbeitsgedächtnis zurückführten.

1.4.5 Einschränkungen und Ausblick

In Studie I wurden nur Kinder im Alter zwischen acht und zwölf Jahren getestet. Gerade hinsichtlich der untersuchten Altersgruppen in Studien, welche die Differenzierungshypothese stützen, wäre es interessant, die Altersspanne

der Stichprobe in einer zukünftigen Studie auszuweiten, das Spektrum der getesteten Fähigkeiten allerdings beizubehalten.

Hinsichtlich der Hypothese non-linearer Entwicklungen von Reasoning und Inhibition während der Grundschulzeit könnte eine Längsschnittstudie Aufschluss geben, in der individuelle Entwicklungskurven verglichen werden können.

1.4.6 Fazit

Die Ergebnisse von Studie I zeigen, dass Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition im Grundschulalter miteinander verbunden sind, ohne dass Indizien für eine Ausdifferenzierung dieser Fähigkeiten mit steigendem Alter gefunden werden konnten. Der Befund trägt zur Erklärung der breit gefächerten Ergebnispalette im Feld der Differenzierungshypothese bei und weist den Weg für weitere Untersuchungen. Besonders die Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und Reasoning mit verschiedenen Arten von Mathematikaufgaben sollten in weiteren Studien genau analysiert werden, um die Zusammenhänge im Detail zu klären. Die Erkenntnis, dass allein die Arbeitsgedächtniskapazität in der zweiten Klasse zur Vorhersage der Mathematiknote beiträgt, während Reasoningfähigkeit in der dritten und vierten Klasse den einzigen signifikanten Prädiktor darstellt, unterstützt die Ansicht von Raghubar et al. (2010), der die prävalente Aufgabenart für die häufig berichtete hohe Korrelation von Arbeitsgedächtnis und Mathematikleistung verantwortlich macht, welche beim Übergang von der dritten zur vierten Klasse von mentaler Arithmetik zu logisch gegliederten Textaufgaben wechselt.

2 Studie II: Die Rolle kognitiver Strategien bei der Zahlenspanne Rückwärts

2.1 Einleitung Studie II

Der Begriff „Arbeitsgedächtnis“ wurde geprägt durch die wegweisende Arbeit von Baddeley und Hitch (1974), welche eines der einflussreichsten Arbeitsgedächtnismodelle des letzten Jahrhunderts erstellten. Die folgende Studie wird im Rahmen des Modells von Baddeley und Hitch diskutiert, da sich das Modell aufgrund seiner klaren Trennung zwischen visueller und verbaler Verarbeitung mit den zugehörigen Verarbeitungskomponenten als Rahmen für die gegebene Problemstellung exzellent eignet.

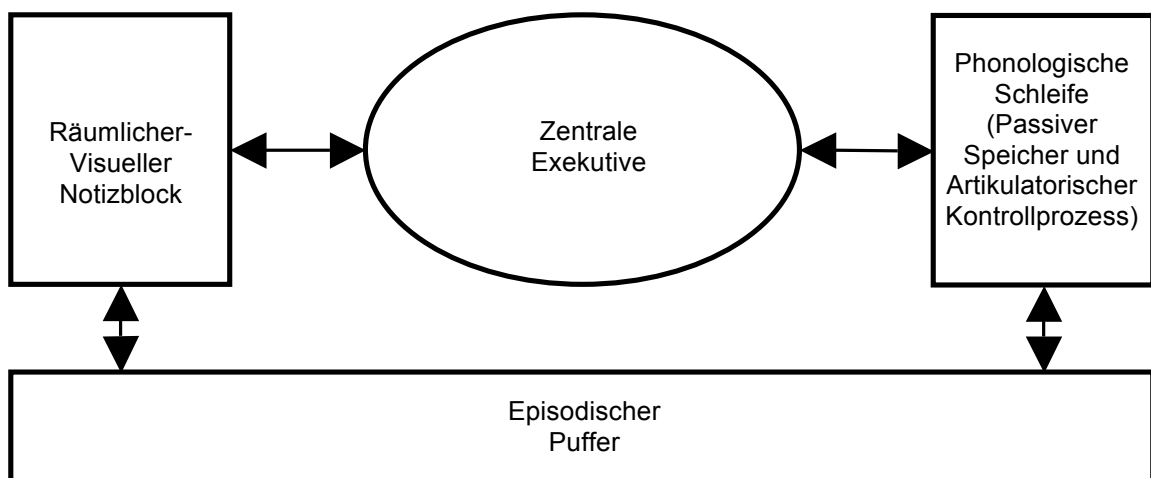
Das ursprüngliche Modell von Baddeley und Hitch (1974) besteht aus einem „*Master System*“ (Hauptsystem), genannt Zentrale Exekutive, und zwei „*Slave Systems*“ (Subsystemen), genannt Phonologische Schleife und Visuell-Räumlicher Notizblock. Das erste der beiden Subsysteme ist für verbale, das zweite für visuelle Verarbeitung zuständig. In Baddeleys Modell koordiniert die Zentrale Exekutive die Phonologische Schleife und den Räumlich-Visuellen Notizblock, während der Episodische Puffer mit dem Langzeitgedächtnis kommuniziert und für Phänomene wie „*Chunking*“ (Zusammenfassen von Information zum Formen übergeordneter Einheiten aus Untergruppen des Stimulusmaterials; Baddeley, 2000) zuständig ist. Die Phonologische Schleife lässt sich zudem in zwei weitere Subprozesse untergliedern: einen passiven Speicher, der automatisch phonetische Information speichert und einen artikulatorischen Kontrollprozess, der für aktives „*Rehearsal*“ (stilles

Wiederholen) zuständig ist. Zum besseren Verständnis ist das Modell in *Abbildung 3.1* grafisch veranschaulicht.

Mehrere bildgebende Studien fanden neuronale Korrelate der von Baddeley postulieren phonologischen Schleife im auditorischen Kortex (Smith & Jonides 1998; Arnott, Grady, Hevenor, Graham & Alain, 2005) und des Räumlich-Visuellen Notizblocks in okzipito-parietalen Arealen (Suchan, Linnewerth, Köster, Daum & Schmid, 2006). Obgleich das Modell weiterhin kritischen Untersuchungen unterzogen wird und fortwährend zusätzliche Unterteilungen in kleinere Komponenten vorgeschlagen werden (siehe Oberauer et al., 2000), ist es noch ein wichtiger Baustein der Arbeitsgedächtnisforschung.

Da das Arbeitsgedächtnis partiell durch seine Kapazität definiert ist (Bireta, Fry, Jalbert, Neath, Surprenant, Tehan & Tolan, 2010), wurden verschiedene Paradigmen zur Untersuchung interindividueller Unterschiede

Abbildung 3.1: Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000)



Anmerkungen: Die Doppelpfeile stehen für Verbindungen zwischen Komponenten des Modells. Die Zentrale Exekutive Stellt die Verbindung zum Langzeitgedächtnis dar.

entwickelt: In der klinischen Neuropsychologie ist der Test „Zahlenspanne Rückwärts“ der gängige Ansatz zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität (siehe Ramsay & Reynolds, 1995). Folgerichtig ist diese Aufgabe Bestandteil mehrerer psychologischer Testbatterien, wie zum Beispiel des „Hamburg-Wechsler Intelligenztests für Erwachsene“ (HAWIE-R; Tewes, 1991). Die Arbeitsgedächtniskapazität einer Person im Kontext der klinischen Neuropsychologie bezeichnet also in der Regel die maximale Länge einer Zahlenspanne, welche sie sich über ein kurzes Zeitintervall merken und in umgekehrter Reihenfolge wiedergeben kann.

In den meisten experimentellen Kontexten hingegen wird die Arbeitsgedächtnisleistung durch andere Paradigmen, wie den so genannten „*n-back Task*“⁶ oder mit Aufgaben zur Speicherung im Kontext gleichzeitiger Verarbeitung untersucht (e.g. Oberauer et al., 2003; Owen, McMillan, Laird & Bullmore, 2005), da diese variabler gestaltet werden können und häufig auch die Messung einer Reaktionszeit ermöglichen. Es scheint folglich wichtig, die Zahlenspanne Rückwärts zusammen mit anderen nicht-klinischen Paradigmen zur Arbeitsgedächtnismessung zu untersuchen, um die Lücke zwischen klinischer und nicht-klinischer Arbeitsgedächtnisdiagnostik zu schließen. Dies ist insbesondere notwendig, da Störungen des Arbeitsgedächtnisses einen extrem häufigen Befund bei Patienten mit zentralnervösen Schädigungen darstellen (McDowell, Whyte & D’Esposito, 1997).

⁶ Beim *n-back Task* werden einzelne Stimuli sequentiell präsentiert, wobei reagiert werden soll, sobald der aktuell präsentierte Stimulus zusammen mit dem *n* Präsentationen zurückliegenden Stimulus eine gesuchte Kombination ergibt. Dies kann bei einer Präsentation von Zahlen zum Beispiel die Summe 9 mit *n* = 2 sein. Hier müsste beispielsweise reagiert werden, falls der aktuelle Stimulus eine 3 wäre und vorletzte Stimulus eine 6. In einfacheren Fällen wird auch nur die simple Übereinstimmung der beiden *n* Positionen auseinander liegenden Stimuli gesucht.

Unabhängig von der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnisdiagnostik im klinischen und nichtklinischen Kontext ist es wichtig zu wissen, welche kognitiven Strategien verwendet werden können, um die Aufgabe Zahlenspanne Rückwärts zu bearbeiten. Um eine Zahlenspanne in umgekehrter Reihenfolge wiederzugeben, kann sie entweder durch lautloses Wiederholen intern memoriert (verbal kodiert) oder als Zahlenreihe in geschriebener Form vorgestellt (visuell kodiert) werden (Dunn, Gaudia, Lowenherz & Barnes, 1990). Diese beiden Strategien funktionieren nach kognitiv viel zu unterschiedlichen Mechanismen, als sie unter dem einfachen Begriff Arbeitsgedächtnis zu subsumieren.

Riding & Cheema (1991) führen aus, dass visuelle und verbale Verarbeitung als zwei von zahlreichen kognitiven Stilen gesehen werden können. Die Wahl der präferierten Verarbeitungsart ist in der Fachliteratur unter dem Namen kognitive Strategie oder kognitiver Stil bekannt (siehe Riding & Cheema, 1991, für eine Übersicht), wobei letzterer als weniger veränderliche beziehungsweise stabilere Unterteilung angesehen wird.

Eine der markantesten Unterscheidungen zwischen Personen die bevorzugte kognitive Verarbeitungsstile einsetzen, kann zwischen Verbalisierern und Visualisierern getroffen werden (siehe Rayner & Riding, 1997). Kognitive Stile können entweder durch eine einzelne bipolare Dimension (Riding & Cheema, 1991) oder zwei unabhängige Dimensionen verschieden starker Ausprägung (Kirby, Moore, & Schofield, 1988; McEwan & Reynolds, 2007) in „visuell“ und „verbal“ eingeteilt werden. Nach Bartlett (1932) tendieren Visualisierer dazu, interne bildliche Vorstellungen als Memorisierungstechnik zu nutzen, während Verbalisierer artikulatorische Techniken wie internes lautloses

Wiederholen präferieren. Parallelen zu den zwei von Baddeley und Hitch (1974) vorgeschlagenen Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses, der Phonologischen Schleife und dem Visuell-Räumlichen Notizblock, sind hier schwer zu übersehen.

Entsprechend der beschriebenen Unterscheidungen postulierte Paivio (1971) ein mögliches Kodieren in ein verbales oder ein visuelles Gedächtnis in seiner „*Dual-Coding-Theory*“ der sensorischen Verarbeitung. Penney (1989) nahm zudem an, dass optische Stimuli – zusätzlich zu visueller Kodierung – automatisch in phonologischen Code übersetzt werden, wenn diese verbalisiert werden können. Zusammengenommen weisen diese Befunde klar in die Richtung einer multiplen sensorischen Kodierung sowie einer möglichen Übersetzung von verbalem in visuellen oder visuellem in verbalen Code. Diese Auffassung passt gut zur Kodierung von Zahlen, welche sowohl visuell als auch verbal leicht zu verarbeiten sind.

Welche Faktoren entscheiden nun darüber, ob eine Stimulusinformation verbal oder visuell verarbeitet wird? Verschiedene Autoren gingen davon aus, dass die Präsentationsmethode kritisch für die anschließende Verarbeitungsmodalität wäre (e.g. Penney, 1989; Suchan et al., 2006). 2004 untersuchten Crottaz-Herbette, Anagnoson und Menon bereits Unterschiede zwischen optischer und akustischer Präsentation bei Arbeitsgedächtnisaufgaben. Im Einklang mit der Sicht, dass die Präsentationsmethode den entscheidenden Faktor für die Wahl der Verarbeitungsmodalität darstellt, fanden sie heraus, dass mit dem verbalen Arbeitsgedächtnis assoziierte kortikale Areale bei optischer Präsentation inhibiert wurden. Mit dem visuellen Arbeitsgedächtnis assoziierte Areale zeigten

sich hingegen bei akustischer Präsentation gehemmt. In diesem Sinne interpretierten auch Brunel und Wang (2001) ihre Befunde, die zeigten, dass Inhibition aufgabenirrelevanter Gehirnareale der wichtigste Faktor bei der Aufrechterhaltung der relevanten Information im Arbeitsgedächtnis ist. Andere Autoren hingegen berichteten dem widersprechende Befunde (e.g. Schumacher, Lauber, Awh, Jonides, Smith, Koeppe, 1996; Cowan, Sauls, & Brown, 2004). Schumacher et al. fanden eine fast vollständige Überlappung der kortikalen Areale, welche bei optischer und akustischer Präsentation einer Arbeitsgedächtnisaufgabe aktiviert wurden. Eine plausible Erklärung dieser Diskrepanz zwischen den Befunden liegt in der Möglichkeit interner Rekodierung: Weder Crottaz-Herbette et al. noch Schumacher et al. kontrollierten die Möglichkeit einer Übersetzung der Stimuli von der Präsentationsmodalität in eine andere. Bemerkenswerterweise berichteten Dunn et al. bereits 1990 von einer visuellen Verarbeitung der Stimuli bei verschiedenen Versuchspersonen trotz akustischer Präsentation. Besonders bei einer Aufgabe wie der Zahlenspanne Rückwärts scheint es sehr einleuchtend, dass die Versuchspersonen akustische Informationen in visuelle Repräsentationen übersetzen können. Hoshi et al. (2000) nannten es gar eine „ergiebige Strategie“, die Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts auf diese Weise zu verbessern.

Folglich müsste die Präsentationsmethode nicht der determinierende Faktor für die Wahl der Verarbeitungsmodalität sein, wenn eine Übersetzung in eine andere Modalität möglich ist. Diese Überlegung könnte helfen, die sich widersprechenden Ergebnisse von Crottaz-Herbette et al. (2004) und Schumacher et al. (1996) hinsichtlich der neuronalen Korrelate verbaler und visueller Arbeitsgedächtnisnutzung einzuordnen: Da Schumacher et al. einen 3-

back Task mit Buchstaben nutzten, könnten die Versuchspersonen akustisch präsentierten Stimuli leicht als Buchstabenreihe visualisiert beziehungsweise die optisch präsentierten Buchstaben verbalisiert haben. Falls die Präsentationsmodalität mit der dominierenden Verarbeitungsmodalität verwechselt wurde, sind die Ergebnisse anfällig für Vermischung der Präsentationsform mit den präferierten kognitiven Stilen beziehungsweise den verwendeten kognitiven Strategien der Versuchspersonen.

Zusätzlich zur Anwendung in der psychologischen Forschung können Erkenntnisse über kognitive Stile bei der Arbeitsgedächtnisnutzung Implikationen für die klinische Diagnostik und Behandlung haben, da die Zahlenspanne Rückwärts traditionell nur akustisch, also vom Tester gesprochen, präsentiert wird. Eine schwache Testleistung könnte einer unpassenden Strategie statt einem globalen Arbeitsgedächtnisdefizit geschuldet sein und eine Behandlung zur Leistungsverbesserung einen Wechsel der kognitiven Verarbeitungsstrategie beinhalten.

Vorgelegte Studie II beabsichtigt, Leistungsunterschiede in der Zahlenspanne Rückwärts zwischen Visualisierern und Verbalisierern hinsichtlich der Präsentationsart zu untersuchen. Neben einfacher optischer und akustischer Präsentation wird ein Dual-Task Paradigma mit gleichzeitiger optischer und akustischer Präsentation angewendet, um beide Verarbeitungskanäle gleichzeitig zu beschäftigen und somit eine Übersetzung von einer Modalität in die andere zu verhindern.

Es wird angenommen, dass Leistungsunterschiede zwischen Verbalisierern und Visualisierern, in Abhängigkeit von der Präsentationsmethode, nur im Dual-Task Paradigma beobachtbar sind,

verursacht durch das Verhindern einer Rekodierung in die präferierte Verarbeitungsmodalität. Ein Arbeitsgedächtnisparadigma basierend auf dem Modell von Oberauer et al. (2000) wird benutzt, um den Zusammenhang zwischen der klinisch genutzten Zahlenspanne Rückwärts und einem nichtklinischen Arbeitsgedächtnistest zu untersuchen. Dieser Test wird zur sprachlichen Simplifizierung im Folgenden einfach als „Arbeitsgedächtnistest“ bezeichnet. Er wurde gewählt, da er auf einem fundierten theoretischen Modell beruht und oben beschriebene *n-back* Aufgaben bezüglich ihrer Validität kritisiert wurden (siehe Kane, Conway, Miura & Colflesh, 2007). Zusätzlich wird die Reasoningfähigkeit der Versuchspersonen erhoben, um deren potenzielle Zusammenhänge mit der Zahlenspanne Rückwärts und der Wahl einer bestimmten kognitiven Strategie zu untersuchen.

2.2 Methoden Studie II

2.2.1 Stichprobe

117 muttersprachlich Deutsche Universitätsstudenten nahmen an der vorliegenden Studie teil. Für die Teilnahme an der Studie erhielten die Versuchspersonen 15 Euro und eine schriftliche Teilnahmebestätigung. Eine Zusammenfassung der Stichprobendaten ist in *Tabelle 3.1* gegeben.

2.2.2 Material

Alle Tests wurden auf einem Dell E6510 Laptop mit einem Intel 2.53 GHz Prozessor, 4.00 GB Arbeitsspeicher und einem Nvidia NVS 3100M Grafikadapter durchgeführt.

2.2.2.1 Reasoningdiagnostik

Der Intelligenz-Struktur-Test 2000R (Liepmann, Beauducel, Brocke, & Amthauer, 2007) wurde benutzt, um die Fähigkeit der Teilnehmer in Reasoning zu messen. Aus ökonomischen Gründen wurden nur die Untertests „*Wort Analogien*“, „*Zahlenreihen*“ und „*Matrizen*“ durchgeführt.

Beim Untertest *Wort Analogien* muss die Versuchsperson verbale Analogien der Form „Lehrer steht zu Schüler wie Platon zu ...“ mit einer aus mehreren möglichen Antworten komplettieren.

Im Untertest *Zahlenreihen* werden Zahlenreihen präsentiert, bei welchen die Versuchsperson die nächste logisch folgende Zahl eintragen soll.

Der Untertest *Matrizen* zeigt Matrizen, denen jeweils ein Element fehlt. Aus vorgegebenen Auswahlfiguren soll jeweils eine ausgewählt werden, die das

fehlende Element darstellt, also beim Einfügen keine der Anordnungsregeln bricht.

2.2.2.2 Arbeitsgedächtnisdiagnostik

Die Arbeitsgedächtniskapazität wurde mit dem Test „*Speichern bei gleichzeitiger Verarbeitung*“ gemessen (Arendasy, unveröffentlicht; basierend auf den Dual-Task Aufgaben zu *Storage and Processing* in Oberauer et al., 2003). Die Versuchspersonen mussten sich Wörter, Ziffern oder Muster merken, die in sequentieller Form dargeboten wurden. In einer direkt folgenden *two-alternative-forced-choice*⁷ Distraktionsaufgabe mussten die Teilnehmer verbales, numerisches oder räumliches Material (passend zum Material der jeweiligen Behaltensaufgabe) fünf Sekunden lang einer Kategorie zuordnen. In der verbalen Aufgabe waren die Bedingungen „Pflanze“ vs. „Tier“ für ein gezeigtes Wort, in der numerischen Aufgabe „gerade“ vs. „ungerade“ für eine dargestellte Zahl und in der räumlichen Aufgabe musste entschieden werden, ob ein gezeigter Pfeil „nach oben“ vs. „nach unten“ deutet. Nach der Distraktionsaufgabe wurden die Versuchspersonen aufgefordert, das vor der Zwischenaufgabe eingeprägte Material wiederzugeben. Jeder Durchgang, bei dem das komplette Material in richtiger Reihenfolge wiedergegeben wurde, wurde mit einem Punkt bewertet. Die Distraktionsaufgabe wurde nicht in die Bewertung aufgenommen, wie von Oberauer et al. (2003) empfohlen, wobei allerdings zufälliges Antwortverhalten nachträglich kontrolliert wurde, um gleichzeitige Verarbeitung beider Aufgabenmaterialien während der Behaltensspanne sicherzustellen.

⁷ Eine *two-alternative-forced-choice* Aufgabe gibt der die Aufgabe bearbeitenden Person zwei Lösungsmöglichkeiten, von denen genau eine gewählt werden muss.

Tabelle 3.1: Stichprobe Studie II

Geschlecht		Alter		
weiblich	männlich	M(sd)	Min	Max
63	52	22.40(2.60)	18	30

M = Mittelwert, sd = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum

Diagnostik der Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts

Das visuelle Stimulusmaterial wurde allen Teilnehmern mit einem Sehwinkel von 3° Grad in der Vertikalen präsentiert. Alle Stimuli bestanden aus geschriebenen schwarzen Ziffern in Arial Font vor einem weißen Hintergrund. Die akustisch präsentierten Ziffern wurden von einer neutralen Computerstimme gesprochen. Um Vergleichbarkeit zwischen den beiden Präsentationsformen zu gewährleisten, wurden bei beiden Bedingungen die Präsentationszeiten für jede Ziffer auf eine Sekunde gesetzt. Außerdem wurde der Hälfte der Teilnehmer zuerst die akustische Form präsentiert, der anderen Hälfte zuerst die optische, um mögliche Reihenfolgeeffekte auszuschließen. Keine Ziffer kam mehr als einmal in einer Ziffernfolge vor. Zusätzlich wurde die Reihenfolge der Zahlenspannen zwischen den Versuchspersonen randomisiert. Die Tastatur des genutzten Laptops wurde während der Untersuchung verdeckt, um eine mögliche Abrufstrategie mithilfe der Tastatur zu verhindern.

2.2.2.3 Diagnostik kognitiver Strategien

Alle Teilnehmer füllten nach dem Versuch einen Fragebogen über kognitive Strategien aus, die sie genutzt hatten, um sich die Zahlenspanne einzuprägen. Der Fragebogen bestand aus diversen offenen und Multiple-

Choice-Fragen und ist in *Appendix A: Fragebogen kognitiver Strategien* abgebildet.

2.2.3 Durchführung

Die Testungen wurden in zwei separaten Sitzungen in einem Universitätslabor unter vergleichbaren Umständen durchgeführt. In der ersten Sitzung wurden zuerst Arbeitsgedächtniskapazität mit dem Paradigma von Oberauer et al. (2003) und im Anschluss Reasoning untersucht. Die Sitzung fand in Gruppen von bis zu fünf Personen statt, bei denen die Teilnehmer fünf Minuten Pause zwischen den zwei Tests bekamen. Jeder Teilnehmer wurde an einem eigenen Laptop getestet.

Die Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts und die Nutzung kognitiver Stile wurde bei jedem Teilnehmer individuell in der zweiten Session erhoben. Um eine individuelle Baseline für die Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts festzustellen, wurden den Versuchspersonen 18 Ziffernfolgen präsentiert, neun akustisch und neun optisch, welche sie in umgekehrter Reihenfolge zu wiederholen hatten. Die optische und die akustische Präsentation beinhalteten beide neun Zahlensequenzen (jeweils drei mit vier, fünf und sechs Ziffern).

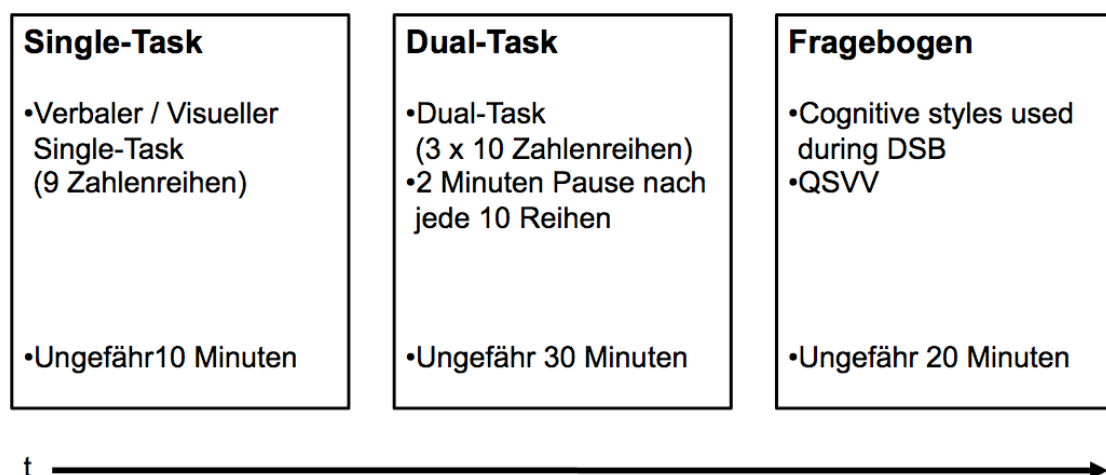
Im Anschluss wurden 30 (jeweils zehn mit vier, fünf und sechs Ziffern) duale Präsentationen mit gleichzeitiger optischer und akustischer Darbietung durchgeführt. Die simultan präsentierten Ziffernfolgen beinhalteten unterschiedliche Ziffern, waren allerdings stets von gleicher Länge um sie mit der Baseline-Bedingung vergleichbar zu machen. Erst nach der Präsentation wurden die Versuchspersonen aufgefordert, entweder die akustisch oder die optisch präsentierte Zahlenreihe rückwärts zu wiederholen. Dadurch wurde gesichert, dass sich die Versuchspersonen beide Reihen merken mussten, um

die gewünschte Reihe reproduzieren zu können. Wie bei den Einzelpräsentationen war die Reihenfolge der Zahlensequenzen randomisiert, ebenso wie die Reihenfolge der zu wiederholenden Präsentationsmodalität (ergo die akustisch oder optisch dargebotene Reihe). Insgesamt wurde jede Versuchsperson aufgefordert 15 optisch und 15 akustisch präsentierte Reihen wiederzugeben. *Abbildung 3.2* zeigt ein Flow Diagramm der Zahlenspannensitzung. Nach der Präsentation der Zahlenreihen wurde der Fragebogen von den Versuchspersonen ausgefüllt.

2.2.4 Analyse

Zur Testung auf Unterschiede zwischen Visualisierern und Verbalisierern (also Personen, welche sich in den Fragebogen als solche einordneten) wurden t -Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Zusätzlich wurden τ Korrelationen nach Kendall berechnet, um mögliche Beziehungen zwischen Zahlenspanne Rückwärts, Arbeitsgedächtnisleistung und Reasoning zu

Abbildung 2.3: Versuchsablauf Zahlenspannensitzung



Anmerkungen: t = Zeit. Die Gesamtzeit betrug etwa 60 Minuten

untersuchen sowie deren Beziehung zu einer Präferenz hinsichtlich visueller und verbaler Strategien. Der Leistungsabfall zwischen Single- und Dual-Task wurde für jede Person individuell berechnet und beide Präsentationsformen, indem der prozentuale Anteil an richtig wiedergegebenen Reihen im optischen und akustischen Single- und Dual-Task berechnet wurden und danach die Leistung. Der so errechnete Wert für den Dual-Task wurde dann vom Single-Task-Wert abgezogen, um einen Kennwert für den Leistungsabfall zu kreieren. Hohe Werte bedeuten somit einen starken Leistungsabfall. Alle Testungen wurden zweiseitig durchgeführt, ausgenommen jene Analysen, bei denen eine einseitige Testung explizit angegeben ist. Effektstärken sind in *punkt-biserialen* Korrelationen (r_{PB} ; bei *t*-Tests für unabhängige Stichproben), g_{Hedges} (bei *t*-Tests für abhängige Stichproben), oder η^2 (bei Varianzanalysen) angegeben. Zudem wurden alle Variablen per *Kolmogorv-Smirnoff* Tests auf Abweichung von einer Normalverteilung überprüft.

2.3 Ergebnisse Studie II

Wie in *Appendix E: Tests auf Normalverteilung* zu sehen, wichen einige der untersuchten Variablen signifikant von einer Normalverteilung ab (alle $p < .05$). Da t -Tests für unabhängige Stichproben trotz Verletzung der Normalverteilungsannahme weniger verzerrte Ergebnisse als deren non-parametrische Pendants liefern (Kubinger, 2009), wurden diese Variablen trotzdem mit t -Tests verglichen.

2.3.1 Stichprobe

Zwei Versuchspersonen mussten von der Analyse ausgeschlossen werden: Eine aufgrund fehlender Mitarbeit bei den Zahlenspannen (das Ergebnis lag mehr als fünf Standardabweichungen unter dem arithmetischen Mittel), die zweite, da sie keinen kognitiven Stil im Fragebogen angab. Durch den Ausschluss ergab sich eine analysierte Stichprobe von $n = 115$ Personen.

Aufgrund eines Aufzeichnungsproblems sind die Daten des Arbeitsgedächtnistests bei vier Probanden nicht vorhanden, weshalb Analysen dieses Tests nur mit $n = 111$ Personen durchgeführt wurden.

Alle Analysen wurden für die Gesamtstichprobe durchgeführt, (ausgenommen von Vergleichen zwischen den zwei Gruppen) da – aufgrund der stark unterschiedlichen Anzahl zwischen Visualisierern und Verbalisierern – unterschiedliche Teststärken bei möglichen Analysen der Untergruppen die Ergebnisse unvergleichbar machen.

2.3.2 Kognitive Strategien

$n = 23$ der Studienteilnehmer gaben für das Einprägen der Zahlenspannen an, eine Visualisierungsstrategie verfolgt zu haben, während $n = 92$ eine Verbalisierungsstrategie angaben. Somit ist die Verteilung der der präferierten kognitiven Strategie nicht gleichverteilt ($\chi^2(1) = 41.4$; $p < .001$).

2.3.3 Zahlenspanne Rückwärts

2.3.3.1 Akustische vs. optische Präsentation

Statistisch gesehen ergibt es keinen Sinn, die Itemschwierigkeiten der optischen und akustischen Items für die Gesamtstichprobe zu vergleichen, da etwa 80% der Stichprobe aus Verbalisierern bestand und somit davon ausgegangen werden kann, dass die Mehrheit der Versuchspersonen weniger Probleme mit akustisch präsentierten Zahlenspannen hatte. Der Vollständigkeit halber sollen hier allerdings die durchschnittlichen Schwierigkeiten der Präsentationsformen, abgebildet in *Tabelle 3.2*, berichtet werden.

Da keine statistischen Analysen durchgeführt wurden, sind die folgenden Ergebnisse rein deskriptiv zu verstehen. Tendenziell hatten die Versuchspersonen mehr Schwierigkeiten optisch dargebotene Sequenzen wiederzugeben als akustisch dargebotene. Diese Tendenz zeigte sich stärker im Dual- als im Single-Task. Folglich ergab sich auch ein stärkerer Leistungsabfall zwischen Single- und Dual-Task in der optischen Bedingung im Vergleich zur akustischen Bedingung.

Tabelle 3.2: Ergebnisse Zahlenspanne Rückwärts

$n = 115$	M(sd)	Min	Max
Verbaler Single Task	6.42(1.87)	2	9
Visueller Single Task	6.39(1,76)	2	9
Verbaler Dual Task	4.35(2.34)	0	10
Visueller Dual Task	3.49(2.68)	0	12

n = Stichprobengröße; M = Mittelwert; sd = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum

2.3.3.2 Single- vs. Dual-Task

Im Mittel zeigte sich eine niedrigere Leistung im Single-Task, verglichen mit dem Dual-Task ($t(114) = 31.25$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 3.01$). Dies bedeutet, dass das Hinzufügen der zweiten Präsentationsmodalität die Aufgabe im Sinne der experimentellen Variation erwartungsgemäß schwieriger machte. Das Ergebnis gilt für die Gesamtstichprobe, unabhängig von der angewendeten kognitiven Strategie.

2.3.3.3 Verbalisierer vs. Visualisierer

Im Single-Task wurden keine Unterschiede zwischen Visualisierern und Verbalisierern in der durchschnittlichen Testleistung gefunden; weder für die akustische ($t(113) = .80$; n.s.; $r_{PB} = .07$) noch für die optische Präsentationsbedingung ($t(113) = .93$; n.s.; $r_{PB} = .09$). Das gleiche Ergebnismuster zeigte sich für den durchschnittlichen Leistungsabfall zwischen Single- und Dual-Task in der akustischen ($t(113) = .00$; n.s.; $r_{PB} = .07$) sowie in der optischen Bedingung ($t(113) = 1.20$; n.s.; $r_{PB} = .11$). Zudem zeigten sich keine Leistungsunterschiede in der durchschnittlichen Gesamtleistung zwischen den beiden Gruppen ($t(113) = .48$; n.s.; $r_{PB} = .15$). Die Mittelwerte und

Tabelle 3.3 Behaltensleistungen von Verbalisierern und Visualisierern

Bedingung	Verbalisierer $n = 92(88)$			Visualisierer $n = 23(23)$		
	M(sd)	Min	Max	M(sd)	Min	Max
akustischer Single-Task	6.35(1.88)	2	9	6.70(1.85)	3	9
optischer Single-Task	6.32(1.82)	2	9	6.70(1.49)	4	9
akustischer Dual-Task	4.35(2.35)	0	10	4.35(2.37)	0	10
optischer Dual-Task	3.18(2.45)	0	12	4.70(3.24)	0	12
Gesamtleistung alle Bedingungen	20.20(5.83)	5	35	22.43(6.12)	12	35
Leistungsabfall akustisch	.42(.21)	-.13	.87	.45(.22)	.04	.80
Leistungsabfall optisch	.49(.21)	-.15	1	.43(.22)	-.02	.82
Leistung Arbeitsgedächtnis	5.55(1.77)	1	10	5.52(1.59)	2	9
Leistung Reasoning	312.40(36.61)	102	356	301.26(63.64)	99	354

n = Stichprobengröße (Stichprobengröße Arbeitsgedächtnistest); M = Mittelwert; sd = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum; Leistungsabfall = Leistungsabfall von Single- zu Dual-Task

Standardabweichungen der beiden Gruppen individuell sind in *Tabelle 3.3* angegeben.

In der Dual-Task Bedingung hingegen konnte zwar kein Unterschied für die akustische Bedingung festgestellt werden ($t(113) = .00$; n.s. , einseitig; $r_{PB} = 0$), jedoch zeigten Visualisierer eine höhere durchschnittliche Behaltensleistung in der optischen Bedingung als Verbalisierer ($t(113) = 2.47$; $p < .01$, einseitig; $r_{PB} = .23$).

Tabelle 3.4: Korrelationen von Reasoning und Arbeitsgedächtnis mit der Zahlenspanne Rückwärts

		Akustisch ST	Optisch ST	Akustisch DT	Optisch DT	Gesamt- ergebnis
Reasoning	r	.17	.22	.11	.07	.25
	p	< .01	< .01	< .05	n.s.	< .01
Arbeitsgedächtnis	r	.19	.20	.18	.21	.27
	p	< .01	< .01	< .01	< .01	< .01

r = Kendalls Tau; p = Überschreitungswahrscheinlichkeit (einseitig), ST = Single-Task; DT = Dual-Task

2.3.4 Arbeitsgedächtnis und Reasoning

Da sich die Fragestellung der aktuellen Studie nur auf Performanceunterschiede in den beiden zusätzlich zur Zahlenspanne Rückwärts erhobenen Tests (nicht auf Subfacetten der kognitiven Fähigkeiten) bezog, wurde sowohl für den Arbeitsgedächtnistest als auch für den Reasoningtest nur die Gesamtleistung zur Analyse herangezogen.

Verbalisierer und Visualisierer zeigten keine signifikanten Unterschiede in der durchschnittlichen Leistung im Arbeitsgedächtnistest ($t(108) = .17$; n.s.; $r_{PB} = .02$) und im Reasoningtest ($t(113) = .55$; n.s.; $r_{PB} = .05$). Folglich kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Gruppen hinsichtlich ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit in diesen Bereichen unterscheiden. Die Ergebnisse für Arbeitsgedächtnis und Reasoning sind in *Tabelle 3.3* zusammengefasst.

Wie in *Tabelle 3.4* zu erkennen, korrelierte die Leistung im Arbeitsgedächtnistest signifikant mit der Leistung in der optischen und akustischen Präsentationsform der Zahlenspanne Rückwärts im Single- sowie

im Dual-Task. Eine Korrelation mit Reasoning konnte für alle Bedingungen mit Ausnahme des optischen Dual-Tasks gefunden werden. Aufgrund einiger nicht-normalverteilter Variablen inklusive der Leistung im Arbeitsgedächtnistest wurden, der Vergleichbarkeit halber, alle Korrelationen mit Kendalls τ berechnet.

Die Leistung im schlussfolgernden Denken korrelierte nicht mit der Leistung im Arbeitsgedächtnistest ($\tau = .01$, n.s., einseitig).

2.4 Diskussion Studie II

Die vorliegende Studie II wurde durchgeführt, um die Rolle kognitiver Strategien bei der Aufgabe Zahlenspanne Rückwärts zu untersuchen. Es zeigte sich, dass Visualisierer signifikant bessere Leistungen im optischen Dual-Task erreichen, im akustischen Dual-Task sowie in beiden Single-Tasks hingegen keine Leistungsunterschiede zwischen den beiden Gruppen zu erkennen sind. Die Wahl der kognitiven Strategie steht in keinem Zusammenhang mit der Arbeitsgedächtnis- oder Reasoningleistung. Die Zahlenspanne Rückwärts korreliert zudem positiv mit der Arbeitsgedächtniskapazität sowie, mit Ausnahme des optischen Dual-Tasks, mit Reasoning.

2.4.1 Verbalisierer und Visualisierer: Arbeitsgedächtnis und Reasoning

Der Befund, dass die Wahl der kognitiven Strategie nicht mit schlussfolgerndem Denken zusammenhängt, unterstützt die Befunde von Riding und Pearson (1994), die ebenfalls keine Verbindung zwischen kognitivem Stil oder kognitiver Strategie und Reasoning berichteten. Die in der Studie II gefundene positive Korrelation zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts ist in sofern erwartungsgemäß, als die Zahlenspanne Rückwärts in der klinischen Neuropsychologie weitläufig zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität eingesetzt wird (siehe Ramsay & Reynolds, 1995). Allerdings spricht die Höhe der gefundenen Korrelationen nicht für einen Einsatz als Instrument zur Arbeitsgedächtnisdiagnostik, da ein valider Test eine Korrelation von mindestens $r = .40$ mit einem Test aufweisen sollte, der die untersuchte Fähigkeit erwiesenermaßen misst (Fisseni, 1997). Einschränkend sei hier

erwähnt, dass die weiter unten diskutierte Auswertungsform des eingesetzten Arbeitsgedächtnistests für deutliche Bodeneffekte und somit eine restringierte Streuung sorgte. Die damit einhergehende Varianzeinschränkung könnte für die niedrigen Korrelationen mitverantwortlich sein.

Der Zusammenhang zwischen Reasoningleistung und der Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts steht ebenfalls in Einklang mit der gegenwärtigen Literatur, wo die Zahlenspanne Rückwärts bereits in früheren Studien mit der Reasoningleistung in Verbindung gebracht wurde (Horn & Cattell, 1966; Dunn et al, 1990) und einen Untertest des „Hamburg-Wechsler Intelligenztests für Erwachsene“ (Tewes, 1991) darstellt. Dies gilt für die akustisch dargebotene Single-Task-Bedingung, nicht allerdings für den Dual-Task, welcher hier zum ersten Mal eingesetzt wurde. Folglich ist es schwerer einzuordnen, weshalb sich keine Korrelation zwischen Reasoning und dem optischen Dual-Task fand. Eine plausible Erklärung ist jedoch, dass die Leistung hier vor allem von der Verarbeitungsstrategie abhing – schließlich zeigten Visualisierer eine signifikant bessere Leistung als Verbalisierer – und diese sich ja unabhängig von der Reasoningfähigkeit zeigte.

Schwer zu erklären ist die beobachtete Unabhängigkeit von Arbeitsgedächtnis und Reasoning, da in der Literatur mehrheitlich befunden wurde, dass Arbeitsgedächtnisleistung mit Intelligenz in Zusammenhang steht (e.g. Schweizer & Moosbrugger, 2004; Bühner, Krumm, Ziegler & Plücken, 2006). Ein möglicher Erklärungsansatz ist die relative Unerforschtheit des genutzten Arbeitsgedächtnistests, bei dem es bisher keine Angaben darüber gibt, wie viel Varianz er mit Reasoning teilt. Die Untersuchung des verwendeten

Arbeitsgedächtnisparadigmas hinsichtlich des Zusammenhangs mit Reasoning stellt eine interessante Aufgabe für zukünftige Forschung dar.

2.4.2 Kognitive Strategien bei der Zahlenspanne Rückwärts

Visualisierer und Verbalisierer zeigten keine Leistungsunterschiede im optischen Single-Task. Das Ergebnis spricht für die Annahme, dass die Präsentationsmodalität nicht den kritischen Faktor für die kognitive Verarbeitungsmodalität darstellt, obwohl dies von verschiedenen Autoren angenommen wurde (Crottaz-Herbette et al. 2004; Schumacher et al., 1996). Unterstützung für diese These findet sich zudem in dem Befund, dass Visualisierer im optischen Dual-Task eine signifikant bessere Leistung zeigten als Verbalisierer: Die Leistung geht besonders dann zurück, wenn die präferierte Verarbeitungsmodalität blockiert ist und somit auf eine Merkstrategie „zweiter Wahl“ zurückgegriffen werden muss. Somit scheint die Präsentationsmodalität erst dann kritisch für die Verarbeitung, wenn die Möglichkeit einer Übersetzung in die präferierte Modalität nicht mehr besteht. Diese Annahme wird unter anderem von den Ergebnissen von Dunn et al. (1990) gestützt, die von einem „automatischen oder bewussten“ Übersetzungsvorgang ausgehen, welcher zur Aufgabenbewältigung gewählt wird. Die Thesen von Dunn et al. stellen die oben beschriebenen Annahmen von Crottaz-Herbette et al. und Schumacher et al. ebenso in Frage wie die Ergebnisse vorliegender Studie II es tun. Ebenso wie in der akustischen Single-Task-Bedingung der gegenwärtigen Studie präsentierten Dunn et al. ihren Probanden die Ziffern akustisch, stellten aber fest, dass einige der Versuchspersonen trotzdem eine visuelle Verarbeitungsstrategie nutzten.

Verbalisierer andererseits zeigten in Studie II keine Vorteile gegenüber Visualisierern bei der Bearbeitung der akustisch präsentierten Zahlenspanne Rückwärts. Dies gilt sowohl für die Single- als auch für die Dual-Task-Bedingung. Bei der Single-Task-Bedingung kann dies ebenso wie bei der optischen Präsentationform mit einer Übersetzung in verbalen Code erklärt werden. Zusammengefasst sind also die beiden Single-Tasks in der Lage, die gegensätzlichen Befunde von Crottaz-Herbette et al. (2004) und Schumacher et al. (1996) zu erklären: Da in diesen beiden Studien nicht kontrolliert wurde, welche kognitive Verarbeitungsstrategie die Versuchspersonen verwendeten, kann, nach den Befunden von Studie II, keine sichere Aussage darüber getroffen werden, auf welchem sensorischen Pfad die Information verarbeitet wurde und folglich ebenfalls nicht, welche kortikalen Areale dabei involviert sein sollten. Besonders die Befunde von Schumacher et al., die eine komplette Überschneidung der involvierten Areale bei akustischer und optischer Präsentation berichten, könnten durch die Anwendung verschiedener kognitiver Strategien der Versuchspersonen beeinflusst sein.

Der Befund, dass Verbalisierer und Visualisierer im akustischen Dual-Task keinen Leistungsunterschied zeigten, scheint durch eine automatische Nutzung der Phonologischen Schleife verursacht zu sein. Penney (1989) zufolge werden akustische Stimuli automatisch in einen sensorisch-akustischen Code übersetzt (analog zum passivem Speicher der Phonologischen Schleife des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley). Penney sowie Baddeley (1992) beschreiben ein passives internes Wiederholen des Gehörten. Somit müsste es nicht strikt notwendig sein, diese passive phonetische Information aktiv zu kontrollieren, um sich die akustisch präsentierten Zahlen zu behalten. Unterstützt wird diese Annahme von den Fragebogenantworten der

leistungsstärksten Versuchspersonen. Zwei Teilnehmer, beide unter den stärksten 10% im Dual Task, gaben an, in jenem eine passive Resonanzstrategie für die akustischen Stimuli verfolgt zu haben, während sie sich darauf konzentrierten, die optisch präsentierten Ziffern aktiv zu visualisieren. Da akustische sensorische Information im auditorischen Pfad bis zu 60 Sekunden erhalten bleibt (Engle & Roberts, 1982), scheint diese Erklärung bei einer maximalen Präsentationslänge von sieben Sekunden pro Zahlenreihe in der Studie II durchaus plausibel. Für sensorische Information im visuellen Pfad ist die Strategie hingegen unbrauchbar, da jene bereits nach weniger als einer Sekunde zu verfallen beginnt (Phillips, 1974).

Der nicht vorhandene Unterschied zwischen Visualisierern und Verbalisierern bezüglich des Leistungsabfalls von Single- zu Dual-Task bei der optischen Präsentation mag zunächst überraschend wirken: Beide Gruppen zeigten keine statistisch unterschiedlichen Leistungen im optischen Single-Task, wohingegen Visualisierer im optischen Dual-Task signifikant besser abschnitten. Diese beiden Ergebnisse in Betracht ziehend scheint es konsequent, davon auszugehen, dass Visualisierer weniger Leistungsabfall von optischen Single- zum optischen Dual-Task verzeichnet hätten als Verbalisierer. Dies war jedoch nicht der Fall.

Um den beobachteten Befund zu verstehen, muss das gesamte Muster an Ergebnissen in Betracht gezogen werden: Obwohl im optischen Single-Task kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gefunden wurde, zeigten Visualisierer deskriptiv eine bessere Behaltensleistung als Verbalisierer. Zudem zeigte sich, wiederum deskriptiv, eine Tendenz zu geringerem Leistungsabfall zwischen optischem Single- und Dual-Task bei

Visualisierern. Zusammengekommen impliziert dies, dass zwar die Leistungsdifferenz im optischen Dual-Task zwischen beiden Gruppen groß genug war, um bei gegebener Teststärke einen statistischen Unterschied auszumachen, der Leistungsabfall zwischen Single- und Dual-Task allerdings durch der deskriptiv bereits im Single-Task bestehenden Überlegenheit der Visualisierer nicht groß genug wurde, um statistische Signifikanz zu erreichen.

2.4.3 Einschränkungen und Ausblick

Ein Item des verwendeten Fragebogens forderte die Versuchspersonen dazu auf anzugeben, ob bestimmte Ziffern oder Ziffernreihen einfacher zu behalten waren als andere. Die große Mehrheit der Befragten gab an, dass einige Ziffern in korrekter auf- oder absteigender Folge zu sein schienen und daher deutlich leichter zu behalten gewesen wären. Aufgrund des balancierten Versuchsdesigns sollten die Ergebnisse nicht von diesem Problem beeinflusst worden sein, jedoch scheint es vernünftig, solche offensichtlichen Muster in zukünftigen Studien zu vermeiden.

Auch wäre es interessant, den Arbeitsgedächtnistest nach Oberauer et al. (2003) hinsichtlich der Validität verschiedener Auswertungsmethoden zu untersuchen, da bisher nicht erforscht wurde, ob die Reihenfolge der erinnerten Stimuli einen Einfluss auf die Validität des erzielten Ergebnisses hat. Dies könnte zudem helfen zu verstehen, weshalb sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Reasoning- und dem Arbeitsgedächtnistest zeigt.

2.4.4 Fazit

Studie II zeigt, dass kognitive Strategien eine wichtige Rolle in der Zahlenspanne Rückwärts spielen. Personen, die eine visuelle kognitive

Strategie verfolgten, zeigten eine bessere Leistung als Verbalisierer, wenn eine Übersetzung in den verbalen Verarbeitungspfad verhindert wurde. Im Rahmen von Baddeleys (1992) Modell können sowohl die Phonologische Schleife als auch der Räumlich-Visuelle Notizblock genutzt werden, um die Zahlenspanne Rückwärts zu bearbeiten; der Befund gilt sowohl für optisch als auch für akustisch präsentierte Items.

Zudem konnte gezeigt werden, dass die Zahlenspanne Rückwärts mit einem nichtklinischen Paradigma zur Arbeitsgedächtnismessung korreliert, welches auf dem Modell von Oberauer et al. (2000) aufgebaut ist. Auch wenn die Korrelationen sich nach den Konventionen von Cohen (1988) eher im niedrigen bis moderaten Bereich bewegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts unter anderem auf die Arbeitsgedächtniskapazität zurückgeführt werden kann. Der Einfluss von Reasoning auf die Behaltensleistung bei der Zahlenspanne Rückwärts zeigte ein weniger klares Muster, jedoch kann nach den Ergebnissen der Studie II davon ausgegangen werden, dass zumindest in der klassischen Präsentationsform ohne Dual Task ein Zusammenhang mit schlussfolgerndem Denken besteht.

Für klinische Anwendungen bedeuten die Ergebnisse der Studie, dass die kognitive Strategie in Diagnose und Therapie einbezogen sein sollte, da sie eine kritische Variable bei der Bearbeitung der Aufgabe darstellt. Die klinische Nutzung der Zahlenspanne Rückwärts als Arbeitsgedächtnistest sollte zumindest kritisch hinterfragt werden, da die Korrelationen zu einem nichtklinischen, auf einer tiefen Theorie aufgebauten Paradigma zur Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität nur moderat ausfielen.

3 Studie III: Eine Untersuchung des räumlichen Stroop Phänomens

3.1 Einführung Studie III

Die Unterdrückung prävalenter Responses ist eine früh entwickelte kognitive Fähigkeit, welche in verschiedensten Paradigmen untersucht wurde (Ridderinkhof, Band & Logan, 1999). In der gegenwärtigen Studie wird nun die Funktionsweise eines klassischen Paradigmas zur Inhibitionsdiagnostik mit Fokus auf die involvierten kognitiven Verarbeitungsmechanismen untersucht.

3.1.1 Der Stroop Effekt

Die Dissertation des Psychologen John Riddley Stroop (1935) gehört zweifellos zu den einflussreichsten Studien in experimenteller Psychologie bis zum heutigen Tag. Allein bis 1991 wurden Stroops Befunde in über 700 Studien untersucht (MacLeod, 1992).

Stroop (1935) zeigte, dass Versuchspersonen deutlich länger brauchen, die Farbe der Tinte eines Wortes zu benennen, wenn das geschriebene Wort den Namen einer anderen Farbe darstellt (zum Beispiel das ausgeschriebene Wort „grün“ in roter Tinte). Ein Beispiel des klassischen Stroop Phänomens ist in *Abbildung 3.1* gegeben. Die Versuche von Stroop basierten auf den Befunden von Cattell (1886), der herausgefunden hatte, dass weniger Zeit benötigt wird, um den Namen eines Objektes zu lesen als das gesehene Objekt zu benennen; die Ergebnisse gelten unter anderem auch für Farben. In den 50 Jahren nach Cattells Befund wurde eine Vielzahl an Studien zur Untersuchung dieses Phänomens durchgeführt (siehe MacLeod, 1991, für eine

Literaturübersicht), doch erst Stroop kombinierte die beiden Dimensionen des Lesens und der Farberkennung zu inkongruenten Fällen, die den „Stroop Effekt“ zur Folge hatten. Der Stroop Effekt beschreibt den Geschwindigkeitsverlust bei der Farbbenennung durch mit der Tintenfarbe inkongruente Farbwörter. Der von Stroop konstruierte Test zum Vergleich der Leistung in einfacher Farberkennung, Wortlesen und Benennen der Tintenfarbe bei inkongruenten Farbwörter wurde nach seinem Erfinder „Stroop Test“ benannt.

Trotz der immensen Menge an Studien zu dem Phänomen konnte bisher keine einheitliche Erklärung für den Stroop Effekt gefunden werden. Generell werden zwei Hauptkandidaten als erklärende Theorien für den Effekt gehandelt (MacLeod, 1991): 1. Relative Verarbeitungsgeschwindigkeit und 2. automatische gegen vorsätzliche Prozesse. Bei der zweiten Theorie wird angenommen, dass Lesen einen automatischen Prozess darstellt und daher mit dem vorsätzlich initiierten Prozess der Farbbenennung interferiert. Comalli, Wapner und Werner (1962) argumentierten, die Leistung im Stroop Test reflektiere die Fähigkeit trotz konkurrierender Information an einem Handlungsablauf festzuhalten. Sie nannten das Lesen von Farbwörtern eine „hochautomatisierte Aktivität“. Auch Cattell (1986) beschrieb seine Ergebnisse bereits als Resultat zweier verschiedener Prozesse, von denen einer automatisiert (Lesen) und der andere vorsätzlich (Objektbenennung) wäre. Dyer (1973) sowie Paley und Olson (1975) schlugen wiederum unterschiedliche Verarbeitungszeiten für Objektbenennung und Lesen als Grund für den Stroop Effekt vor. Allerdings kommen Dunbar und MacLeod (1984) in ihrem Review-Paper zu dem Schluss, dass, sei nun Automatisierung ein Faktor oder nicht, relative Verarbeitungsgeschwindigkeit keine adäquate Erklärung für den Effekt

biere. Bis heute ist dieser Konflikt nicht abschließend geklärt, weshalb die Einflüsse verschiedener Aspekte wie Wortanordnung (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966), Maskierung der Wörter (Gumenik & Glass, 1970) oder der Einfluss einzelner Wortphoneme (Coltheart et al., 1999) untersucht wurden und werden und die experimentelle Forschung in diesem Feld weiterhin floriert.

Auch in der diagnostischen Praxis stellt der Stroop Test ein häufig verwendetes Verfahren zur Erfassung der Inhibitionsfähigkeit dar (Swerdlow, Paulsen, Braff, Butters, Geyer & Swenson, 1995). Er wird sowohl in klinischen Studien (e.g. Comalli et al., 1962; Dodrill & Troupin, 1977) sowie in gegenwärtiger klinischer Diagnostik (e.g. Hilger & Kasper, 2002; Petermann & Toussaint, 2009) eingesetzt und eignet sich beispielsweise zur Diagnostik kognitiven Leistungsabfalls im Alter (Cohn, Dustman & Bradford, 1984).

3.1.2 Variationen des Stroop Tests

In Anlehnung an das klassische Farbe-Wort Interferenz Paradigma wurden verschiedenste Versionen von Stroop Tests entworfen, die zum Beispiel einen emotionalen (Meier & Robinson, 2004), auditiven (Cohen & Martin, 1975) oder räumlichen (White, 1969) Stroop Effekt untersuchten. Besonders der räumliche Stroop Effekt, welcher sich auf die Interferenz zwischen Wortbedeutung und Wortposition bezieht, wurde in verschiedenen Szenarien analysiert (siehe Lu & Proctor, 1995, für eine Literaturübersicht). White benutzte ein Viereck mit den Wörtern „North“, „South“, „East“ und „West“, die in Nähe einer der vier Seiten des Quadrates erschienen, um räumliche Interferenz zwischen den Wörtern und der Position zu untersuchen. Die Versuchspersonen mussten verbal artikulieren an welcher Seite des Quadrates das Wort steht, ungeachtet der Bedeutung des Wortes. Obwohl Himmelsrichtungen nur indirekt

in Beziehung zu den Seiten eines Quadrates stehen, fand White einen Interferenzeffekt, wenn ein Wort nicht an der Position stand, die es auf einer Landkarte einnehmen würde. Der Leistungsabfall von Baseline- zu Interferenzbedingung fiel allerdings für Farben deutlich stärker aus als für Positionen. Bei Betrachtung der semantischen Nähe der Tintenfarbe und der Bedeutung des ausgeschriebenen Farbnamens im Vergleich zur Beziehung der Himmelsrichtung mit der Bildschirmposition wirkt diese Diskrepanz allerdings wenig überraschend. Shor (1970) nutzte Pfeilstimuli, innerhalb welcher die Wörter „up“, „down“, „left“ und „right“ geschrieben standen, um den Interferenzeffekt der Wörter auf die Benennung der Pfeilrichtung und umgekehrt zu analysieren. Er konnte zeigen, dass zwar sowohl das Benennen der Pfeilrichtung durch die Wörter beeinflusst wird als auch umgekehrt, allerdings war die Beeinträchtigung beim Benennen der Pfeilrichtung deutlich stärker. Paley und Olson (1975) gingen diesem Phänomen nach, indem sie durch Änderung der Schriftgröße die Zeit bis zur Worterkennung variierten und befanden, dass die räumliche Position mit der Wortbedeutung nur dann interferierte, wenn sie schneller erkannt und somit schneller verarbeitet wurde. In dem Versuch mussten die Teilnehmer die Position bzw. Wortbedeutung per Tastendruck anzeigen, was mit der Erhebungsmethode im klassischen Stroop Paradigma nur eingeschränkt vergleichbar ist und somit eine Interpretation im Sinne von Verarbeitungsgeschwindigkeit für dieses Phänomen erschwert. Interessanterweise zeigte sich der Interferenzeffekt in Whites Experiment nur, wenn die Versuchspersonen ihre Antwort verbal gaben. Er blieb jedoch aus, wenn sie die Richtung mit einem Steuerknüppel anzeigten. White fand dieses Muster genauso für den klassischen Farbe-Wort Interferenztest: Sollte die

Farbe mit Druckknöpfen angezeigt werden, waren die Versuchspersonen in der Interferenzbedingung nicht langsamer als in der Baselinebedingung.

Hier zeigt sich die immense Bedeutung der verbalen Komponente für das Stroop Phänomen, welche trotz der umfangreichen Forschung auf diesem Gebiet nur selten diskutiert wurde (eine gute Analyse geben allerdings Liotti, Woldorff, Perez III & Mayberg, 2000). Auch Dyer (1972), der wie White (1969) den Stroop Effekt mit dem Interferenzeffekt für Richtung und Wort untersuchte, ließ seine Versuchspersonen ausschließlich verbal auf die Stimuli reagieren. Dyer ließ den Versuchspersonen Zeit zur Reaktionsunterdrückung, indem er den Personen zuerst das geschriebene Wort in der Bildschirmmitte präsentierte, um es nach variierenden Intervallen in Richtung eines der vier Bildschirmränder zu bewegen. Keine der Studien konnte die Frage nach der involvierten verbalen Komponente abschließend klären, da White unpassende Stimuli verwendete, Shor (1970) sowie Dyer nur verbale und Paley und Olson (1975) ausschließlich manuelle Reaktionen untersuchten. Die Frage nach dem Einfluss der sprachlichen Komponente bleibt also weiterhin nicht vollständig geklärt und es bedarf genauer Untersuchung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der involvierten Dimensionen wie räumliche Position und Farbe.

Gerade wegen des breiten Einsatzes des Stroop Tests in der klinischen Praxis (e.g. Comalli et al., 1962; Golden & Freshwater, 1978; Dodrill & Troupin, 1977) und der Fragen hinsichtlich der Wirkungsweise der verbalen und nonverbalen Komponenten scheint es wichtig, die involvierten kognitiven Mechanismen und deren Zusammenspiel weiter zu untersuchen.

Die vorliegende Studie III nutzt den Vergleich des klassischen Farbe-Wort Interferenz-Paradigmas mit einem selbst entwickelten Position-Wort

Interferenztest zur Untersuchung. Um sprachliche Faktoren des Effektes zu erforschen, wird der räumliche Stroop Test zusätzlich zur verbalen Response auch in einer Bedingung mit manueller Response untersucht. Im Kontext der gegenwärtigen Literatur wird erwartet, dass sich die Position-Wort-Interferenz in gleicher Weise auf den Leistungsabfall in der Stimulusbenennung auswirkt wie die Farbe-Wort Interferenz. Es wird außerdem erwartet, dass die Stroop Interferenz in der manuellen Bedingung nicht auftritt, da die Komponente der verbalen Response als essenziell angesehen wird wie von White (1969) vermutet.

3.2 Methoden Studie III

3.2.1 Stichprobe

54 muttersprachlich Deutsche Personen nahmen an der Studie teil. Für die Teilnahme an der Studie erhielten die Versuchspersonen 15 Euro sowie eine schriftliche Teilnahmebestätigung. Die Stichprobendaten sind in *Tabelle 4.1* zusammengefasst. Der Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten ist in *Appendix C: Fragebogen Position Stroop* abgebildet.

3.2.2 Material

Die am Computer durchgeführten Tests wurden auf einem Dell E6510 Laptop mit einem Intel 2.53 GHz Prozessor, 4.00 GB Arbeitsspeicher und einer Nvidia NVS 3100M Grafikkarte durchgeführt. Die analogen Tests wurden den Versuchspersonen auf weißen DIN-A4 Blättern präsentiert.

3.2.2.1 Farbe Stroop Test

Zur Testung der Farbe-Wort Interferenz wurde der „Farbe-Wort-Interferenztest“ nach Stroop (Bäumler, 1985) durchgeführt. Auf DIN-A4 Blättern gedruckte farbige Balken, in schwarzer Tinte ausgeschriebene Farbwörter und in farblich inkongruenter Tinte gedruckte Farbwörter wurden den Versuchspersonen nacheinander auf jeweils einem DIN-A4 Blatt vorgelegt. Jedes Blatt zeigte 74 Stimuli, welche so schnell wie möglich nacheinander vorgelesen beziehungsweise in ihrer Farbe benannt werden mussten. Gemessen wurde die Zeit, welche für das Lesen beziehungsweise Benennen aller Stimuli auf der Seite gebraucht wurde. Ein Beispiel der jeweiligen Bedingung ist in *Appendix D: Stroop Testverfahren* abgebildet.

Tabelle 4.1: Stichprobe Studie III

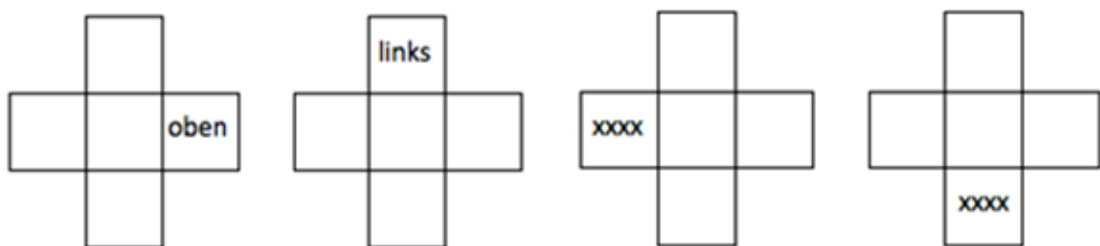
Geschlecht		Alter		
weiblich	männlich	M(sd)	Min	Max
37	17	24.78(2.6)	18	37

M = Mittelwert; sd = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum

3.2.2.2 Analoger Position Stroop Test

Der analoge Wort-Position Interferenztest ist eine Eigenentwicklung des Autors der vorliegenden Dissertation, welcher als Analogon zum Farbe-Wort Interferenztest konzipiert wurde. Die Stimuli bestehen aus Kreuzen, in denen das Wort „unten“, „oben“, „rechts“ oder „links“ an einer inkongruenten Position im Kreuz eingetragen sind. 24 dieser Kreuze sind auf einer DIN-A4 Seite abgebildet. Eine Kontrollbedingung bestand aus einer DIN-A4 Seite mit den genannten Richtungswörtern, allerdings ohne Positionskreuz und eine weitere Kontrollbedingung aus einer DIN-A4 Seite mit den Buchstaben „XXXX“ an unterschiedlichen Positionen im Kreuz. Die Kontrollbedingungen enthielten genauso viele Kreuze beziehungsweise Wörter wie die Interferenzbedingung.

Abbildung 4.1: Beispielitems Position Stroop



Anmerkungen: Jeweils zwei Beispielitems der Position Stroop Bedingungen Interferenz (links) und Baseline (rechts).

Beispiele für Stimuli der drei Bedingungen sind in *Abbildung 4.1* abgebildet. Die Wörter sind in schwarzer Tinte in „Calibri“-Schrift der Größe 14 Punkt abgebildet. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die Position des Stimulus innerhalb des Kreuzes zu erkennen und mit „unten“, „oben“, „rechts“ oder „links“ zu benennen, beziehungsweise, in der Bedingung ohne Kreuz, die geschriebenen Wörter vorzulesen. Wie im Farbe-Wort Interferenztest wurde die Zeit gestoppt, welche eine Versuchsperson für die gesamte Seite benötigte. In *Appendix D: Stroop Testverfahren* ist jeweils ein Beispielblatt der drei Bedingungen abgebildet.

3.2.2.3 Digitaler Position Stroop Test

Eine Variante des Wort-Position Interferenztests wurde zum Zwecke der genauen Reaktionszeitmessung für einzelne Stimuli an einem Computer durchgeführt. Die Studienteilnehmer mussten entweder auf 120 sequentiell erscheinende Kreuze mit den Buchstaben „XXXX“ reagieren oder, in der zweiten Bedingung, auf die Wörter „unten“, „oben“, „rechts“ oder „links“ innerhalb eines Kreuzes, die an unterschiedlichen Enden des Kreuzes erschienen. Jedes der vier Wörter erschien 120 Mal, gleichverteilt in allen vier Positionen. Die Wörter wurden allen Teilnehmern in „Calibri“-Schriftart mit einem Sehwinkel von 3° Grad in der Vertikalen präsentiert.

Genau wie im analogen Test bestand die Aufgabe darin, die Position der Wörter zu erkennen (unabhängig davon, welches Wort erschienen war) und diesmal allerdings per korrektem Tastendruck darauf zu reagieren. Als Tasten dienten die vier Pfeiltasten der Tastatur, welche in folgender Form mit den Fingern der Versuchsperson belegt waren: die Mittelfinger der rechten und

linken Hand auf den korrespondierenden Richtungstasten (rechts und links), der Zeigefinger der rechten Hand auf die Pfeiltaste nach oben und der Zeigefinger der linken Hand auf die Pfeiltaste nach unten. Bei der Hälfte der Versuchspersonen wurde die Fingerstellung so umgestellt, dass der rechte Mittelfinger die Pfeiltaste unten, der linke Mittelfinger die Pfeiltaste oben und der linke und rechte Zeigefinger die Pfeiltasten zur entgegengesetzten Seite belegten. Auf diese Weise sollten Effekte der dominanten Hand minimiert werden.

3.2.3 Durchführung

Die Testungen wurden in einer einzelnen Sitzung in einem Universitätslabor unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt. Jeder Versuchsteilnehmer wurde individuell getestet. Die verschiedenen Tests wurden randomisiert um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wobei allerdings die digitalen und analogen Tests immer im Block durchgeführt wurden. Die Hälfte der Versuchspersonen führte also zuerst den digitalen Test durch, die andere Hälfte zuerst die beiden analogen. Innerhalb der Blocks wurde ebenfalls die Reihenfolge randomisiert, sodass die Hälfte der Probanden den analogen Farbe-Wort Interferenztest vor dem Position-Wort Interferenztest durchführte, die andere Hälfte umgekehrt. Genauso führte die Hälfte der Personen im digitalen Test die Baselinebedingung („XXXX“ zeigt die Position an) zuerst durch und die andere Hälfte die Bedingung mit den ausgeschriebenen Richtungswörtern.

Beim klassischen Farbe-Wort Interferenztest mussten die Teilnehmer zuerst die Farbe der Balken so schnell wie möglich nacheinander benennen, während die für die gesamte Seite benötigte Zeit vom Versuchsleiter gestoppt

wurde, anschließend folgte die identische Prozedur für die schwarzen Farbwörter und schließlich nochmals für die bunten Farbwörter.

Beim analogen Position-Wort Interferenztest wurden – im Dienste der Vergleichbarkeit zwischen Farbe-Wort- und Position-Wort-Interferenz – den Versuchspersonen drei Blätter mit jeweils ausschließlich dem Wort „XXXX“ in den Kreuzen, danach nur mit den ausgeschriebenen Wörtern ohne Kreuze und schließlich mit den Wortstimuli innerhalb der Kreuze vorgelegt.

Der digitale Position-Wort Interferenztest wurde an einem Laptop durchgeführt. Die Baselinebedingung bestand aus der Reaktion auf den Stimulus „XXXX“, die Interferenzbedingung aus der Reaktion auf die ausgeschriebenen Wörter „unten“, „oben“, „rechts“ oder „links“ an bedeutungskongruenten oder bedeutungsinkongruenten Positionen im Kreuz. Durch die Mischung kongruenter und inkongruenter Trials kann ausgeschlossen werden, dass Versuchspersonen in kongruenten Trials darauf vorbereitet waren, das Wort zu lesen ohne auf die Position zu achten, um ihre Reaktion zu beschleunigen. Ein Flow-Diagramm des Versuchsablaufes ist in *Abbildung 4.2* gezeigt.

3.2.4 Analyse

Die Testleistung beider analoger Tests wurde zur einfachen Vergleichbarkeit in Wörtern pro Sekunde (WPS) erhoben. Die Formel zur Berechnung lautet wie folgt (Der Einfachheit halber werden auch Farbbalken beziehungsweise der Stimulus „XXXX“ als Wort bezeichnet):

$$WPS = \frac{\text{gelesene Wörter} - \text{Fehler}}{\text{Zeit in Sekunden}}$$

Zudem wurde ein Index für den Leistungsabfall von der Baselinebedingung zur jeweiligen Interferenzbedingung berechnet. Für den klassischen Stroop Test wurde die Leistung im Balkenfarbenbenennen durch die Leistung in der Interferenzbedingung geteilt, für den Position Stroop Test wurde die Leistung in der Bedingung mit den „XXXX“ Stimuli durch die Leistung in der Interferenzbedingung geteilt. Dieser Wert wird im Folgenden schlicht als „Index“ bezeichnet.

Zur Testung auf Unterschiede zwischen den drei Versuchsbedingungen im Farbe-Wort sowie im analogen und digitalen Position-Wort Interferenztest wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Verletzungen der Sphärizitätsannahme (geprüft durch den Mauchly-W-Test) wurden mit Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeit nach Greenhouse-Geißer (ϵ_{G-G}) begegnet. Zusätzlich wurden *Post-Hoc t*-Tests für abhängige

Abbildung 4.2: Versuchsablauf Studie III



Anmerkungen: t = Zeit. Dargestellt ist ein exemplarischer Ablauf, der je nach Randomisierungsbedingung variiert.

Stichproben vorgenommen, um festzustellen, welche der einzelnen Bedingungen sich signifikant unterschieden. Zusätzlich wurden *Produkt-Moment* Korrelationen nach Pearson berechnet, um mögliche Beziehungen zwischen den verschiedenen Testvariablen zu untersuchen. Alle Testungen wurden zweiseitig durchgeführt, ausgenommen jener Analysen, bei denen eine einseitige Testung explizit angegeben ist. Effektstärken sind in standardisierten Mittelwertsdifferenzen nach g_{Hedges} angegeben für t -Tests und in η^2_{partiell} für Varianzanalysen angegeben. Außerdem wurden alle Variablen per *Kolmogorov-Smirnoff* Tests auf Abweichung von einer Normalverteilung überprüft.

Ergebnisse Studie III

Alle mittels Varianzanalysen untersuchten Variablen zeigten signifikante Abweichung von Sphärizität, weshalb die Überschreitungswahrscheinlichkeiten aller durchgeführten Varianzanalysen via ϵ_{G-G} angepasst wurden. Die entsprechenden Mauchly-W-Tests sind in *Appendix F: Tests auf Sphärizität* abgebildet. Obwohl mehrere Variablen signifikant von einer Normalverteilung abwichen, wurden Varianzanalysen berechnet, da diese bei vergleichbarer Stichprobengröße trotz Verletzung der Normalverteilungsannahme robuste Ergebnisse liefern (Bühner & Ziegler, 2009). Auch liefern *t*-Tests für unabhängige Stichproben trotz Verletzung der Normalverteilungsannahme weniger verzerrte Ergebnisse als deren non-parametrische Pendanten (Kubinger, 2009). Eine Zusammenfassung der *Kolmogorov-Smirnoff* Tests auf Normalverteilung ist in *Appendix E: Tests auf Normalverteilung* gegeben.

3.2.5 Stichprobe

Keine der getesteten Personen fiel durch ein zufälliges Antwortmuster oder geringe Motivation bei der Testung auf. Folglich wurden alle Teilnehmer in die Analyse aufgenommen.

3.2.6 Farbe-Wort Interferenztest

Die Leistungen im klassischen Stroop Test sind in *Tabelle 4.2* eingetragen. Sie unterschieden sich erwartungsgemäß signifikant zwischen den drei Bedingungen ($F(2, 106) = 95.03$; $p < .01$, korrigiert nach ϵ_{G-G} ; $\eta^2_{\text{partiell}} = .64$). Auch zeigten die Versuchspersonen wie erwartet eine bessere durchschnittliche Leistung im Lesen der Farbwörter als im Benennen der

Tabelle 4.2: Antwortgeschwindigkeit analoge Stroop Tests in WPS

Bedingung	M(sd)	Min	Max
Farbe Balken	1.83(.57)	1.01	5.29
Farbe Wörter	2.72(.43)	1.61	3.66
Farbe Interferenz	1.12(.21)	.58	1.63
Farbe Index	1.62(.33)	1.25	3.83
Position „XXXX“	1.80(.31)	.74	2.53
Position Wörter	1.92(.29)	1.19	2.50
Position Interferenz	1.49(.30)	.45	2.40
Position Index	1.23(.16)	.95	1.80

M = Mittelwert; sd = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum; WPS = Wörter pro Sekunde; Index = Quotient von Baseline- und Interferenzbedingung

Balkenfarben ($t(53) = 13.64$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 1.74$) und als in der Interferenzbedingung ($t(53) = 33.28$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 4.68$). Zudem waren sie durchschnittlich signifikant besser im Balkenbenennen als in der Interferenzbedingung ($t(53) = 10.79$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 1.62$).

3.2.7 Analoges Position-Wort Interferenztest

Die Leistungen im Position Stroop Test sind ebenfalls in *Tabelle 4.2* angegeben. Sie unterschieden sich signifikant zwischen den drei Bedingungen ($F(2, 106) = 354.53$; $p < .01$, korrigiert nach ϵ_{G-G} ; $\eta^2_{partiell} = .87$). Analog zum klassischen Stroop Test zeigten die Versuchspersonen eine bessere durchschnittliche Leistung im Lesen der Wörter als im Benennen der Positionen ($t(53) = 3.50$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = .39$) und waren durchschnittlich signifikant langsamer in der Interferenzbedingung als im Positionsbenennen ($t(53) = 11.78$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 1.01$) und im Lesen ($t(53) = 12.35$; $p < .01$, einseitig; $g_{Hedges} = 1.44$).

Tabelle 4.3 Antwortgeschwindigkeit digitaler Stroop Tests in ms

Bedingung	M(sd)	Min	Max
„XXXX“	450(65)	340	649
Faszilitation	433(85)	345	670
Interferenz	470(85)	353	854

M = Mittelwert; sd = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum; Die Werte zeigen die Reaktionszeit in Millisekunden (ms)

3.2.8 Digitaler Position-Wort Interferenztest

Die durchschnittlichen Leistungen im digitalen Position Stroop Test sind in *Tabelle 4.3* abgebildet. Die durchschnittlichen Leistungen unterschieden sich nicht zwischen den drei Bedingungen ($F(2, 106) = .70$; n.s.; $\eta^2_{\text{partiell}} = .01$). Ein Vergleich zwischen den Reaktionszeiten im digitalen und den analogen Tests ist wegen der unterschiedlichen Paradigmen nicht möglich.

3.2.9 Vergleich analoger Position-Wort und Farbe-Wort Interferenztest

Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen im Farbwortlesen durchschnittlich schneller als im Richtungswortlesen waren ($t(53) = 23.84$; $p < .01$, einseitig; $g_{\text{Hedges}} = 2.15$). Zwischen Farbbalkenbenennung und Positionsbenennung, den beiden Baselinebedingungen, zeigte sich im Mittel allerdings kein signifikanter Unterschied ($t(53) = .31$; n.s.; $g_{\text{Hedges}} = .05$). Die Interferenzbedingung unterschied sich wiederum deutlich ($t(53) = 13.39$; $p < .01$; $g_{\text{Hedges}} = 1.42$), mit einer schnelleren durchschnittlichen Performance im Farbe-Wort Interferenztest. Konsequenterweise war auch der Index des Leistungsabfalls zwischen Baseline- und Interferenzbedingung im klassischen Stroop Test größer, i.e. die Interferenz stärker ($t(53) = 7.69$; $p < .01$, einseitig; $g_{\text{Hedges}} = 1.49$).

3.3 Diskussion Studie III

In Studie III konnte gezeigt werden, dass der klassische Farbe-Wort Interferenzeffekt auch auf der räumlichen Dimension als Position-Wort Interferenzeffekt zu beobachten ist, wenn auch geringer als im klassischen Paradigma. Außerdem zeigte sich der Effekt nur bei verbaler Response, während bei manueller Response keinerlei Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen gefunden wurden.

3.3.1 Farbe-Wort und Position-Wort Interferenztest

Das vorgefundene Muster von signifikant schnellsten Antworten beim reinen Lesen, langsameren Antworten bei der Farberkennung der Balkenstimuli und der geringsten Geschwindigkeit in der Interferenzbedingung spiegelt sowohl das klassische Muster (Stroop, 1935) als auch jenes etlicher Replikationen des Experiments von Stroop (siehe MacLeod, 1991 für eine Literaturübersicht) wider.

Genauso wurde bereits in verschiedenen Studien gezeigt, dass Interferenz in der räumlichen Dimension erzeugt werden kann (e.g. Shor, 1970; Dyer, 1972; Paley & Olson, 1975). Die bisher einzige Studie, die eine mit dem klassischen Stroop Test vergleichbare Version eines Position-Wort Interferenztests untersucht hat, wurde allerdings von White (1969) durchgeführt: White zeigte, dass seine Versuchspersonen langsamer auf Stimuli in der Interferenzbedingung reagierten als in einer Bedingung mit semantisch nicht verwandten Wörtern. Leider nahm White keine individuelle Analyse der zwei Tests vor, sondern zeigte lediglich, dass, in beiden Tests zusammengenommen, die Interferenzbedingung längere Reaktionszeiten zur

Folge hatte und verbale Reaktionen generell schneller waren als manuelle. Außerdem zeigte White, dass auf Farbstimuli besser reagiert wurde als auf räumliche Stimuli sowie dass die Interferenzbedingung in Interaktion mit der von ihm genutzten Testform stand. Diese Analyse ist zwar nicht ausreichend für einen erschöpfenden Vergleich der Reaktionsmuster über die beiden Tests, steht allerdings auch nicht im Widerspruch zu den Befunden vorliegender Studie III, welche die Ergebnismuster des klassischen Stroop Tests in der räumlichen Dimension repliziert. Ebenso stehen die Ergebnisse von Studie III zum Position Stroop Test im Einklang mit den Befunden von Shor (1970), welcher berichtete, dass das Benennen einer Pfeilrichtung länger dauere als das Lesen des ausgeschriebenen Richtungswortes. Auch zeigten Shors Ergebnisse einen Interferenzeffekt zwischen räumlicher Stimulusausrichtung und dem ausgeschriebenen Richtungswort. Allerdings verwendete Shor Stimuli, die sich hinsichtlich der Rolle räumlicher Aufmerksamkeit für die Reaktionswahl stark von den Stimuli der gegenwärtigen Studie unterscheiden. Da die Pfeilstimuli –und somit die relevanten Stimulusattribute – in jeder Bedingung in der Bildschirmmitte erschienen, war in keinem Fall eine Aufmerksamkeitsverschiebung notwendig, was generell die Verarbeitungseffizienz und somit die Reaktionsgeschwindigkeit deutlich reduziert (Posner, 1980). Es erscheint in diesem Fall sogar passender von Objekterkennung als von räumlicher Aufmerksamkeit zu sprechen. Da in Studie III der antwortrelevante Stimulus an verschiedenen Positionen erschien, (i.e. den vier Enden des Kreuzes), kann hier die Rolle der räumlichen Dimension klarer interpretiert werden. Auch beinhaltete die Studie von Shor keine Baselinebedingung mit Pseudowörtern oder „XXXX“ Stimuli, im Gegensatz zur Studie III, sondern ausschließlich mit der Pfeilrichtung

kongruente Wörter. Aus diesem Grunde war bei Shor eine Einschätzung des Interferenzeffektes schwierig, welcher sich in vorliegender Studie III deutlich zeigte.

Die beobachteten Ergebnismuster für den klassischen sowie für den räumlichen Stroop Test stehen also im Einklang mit der vorhandenen Literatur, zeigen jedoch für den räumlichen Effekt ein klareres und differenzierteres Muster als in allen bisher durchgeführten Studien.

Der Leistungsabfall zwischen Baseline- und Interferenzbedingung war in Studie III größer im klassischen als im Position Stroop Test. Dieser Vergleich des Leistungsabfalls wurde bisher noch in keiner Studie klar analysiert und zeigt, dass sich die Interferenzstärke zwischen räumlicher und farblicher Dimension unterscheidet. Ein möglicher Erklärungsansatz liegt in den unterschiedlichen Verarbeitungskanälen von räumlicher und farblicher Information⁸. Während bei einem räumlichen Stroop Paradigma besonders parietale Hirnareale, welche mit räumlicher Verarbeitung assoziiert sind, aktiviert werden (Liu, Banich, Jacobson & Tanabe, 2004), zeigen bei Farbe-Wort Interferenz vorrangig linkslaterale temporo-parietale Areale erhöhte Aktivität, welche auch mit sprachlicher Verarbeitung assoziiert sind (Liotti et al., 2000).⁹ Die gleichzeitige Beanspruchung einer Verarbeitungsmodalität durch relevante und irrelevante Stimulusinformationen in ein und demselben neuronalen Pfad sorgt für mehr Interferenz als in verschiedenen

⁸ Nach einer Reihe von experimentellen und Läsionsstudien mit Rhesusaffen befanden Mishkin, Ungerleider und Macko (1983), dass visuelle Informationsverarbeitung über zwei trennbare neuronale Pfade stattfindet: Objekterkennung wird über einen ventralen Pfad entlang des temporalen Kortex verarbeitet, während räumliche Information entlang eines dorsalen Pfades über den parietalen Kortex gesendet wird.

⁹ Sowohl im räumlichen als auch im klassischen Stroop Paradigma wurde zusätzlich eine erhöhte Aktivität des anterioren cingulären Kortex beobachtet, welcher unter anderem mit Responseinhibition assoziiert ist (Bush et al., 1999).

Verarbeitungsmodalitäten (siehe Wickens, 1980, S. 240) und ist somit ein aussichtsreicher Kandidat für die Ursache des Unterschiedes in der Interferenzstärke zwischen den zwei Stroop-Versionen.

Der beobachtete Unterschied in der Antwortgeschwindigkeit auf die ausgeschriebenen Farb- und Positionswörter lässt sich logisch durch die unterschiedliche Silbenanzahl begründen: Während alle verwendeten Farbwörter einsilbig sind, beinhalten zwei der Positionswörter (i.e. „oben“ und „unten“) zwei Silben und nehmen folglich beim Lesen und Sprechen mehr Zeit in Anspruch.

3.3.2 Vergleich verbaler und manueller Responses

Der digitale Position Stroop Test wurde mit manueller Response durchgeführt. Die Versuchspersonen mussten ihre Antwort via Tastendruck geben, was zu einem Verschwinden des bei verbaler Response beobachteten Interferenzeffektes führte. Zudem wurde kein möglicher Fazilitationsseffekt durch die kongruenten Stimuli beobachtet. Dieser Befund steht in Einklang mit den Ergebnissen von White (1969), der ebenfalls nur bei verbaler Response einen signifikanten Leistungsabfall in der Interferenzbedingung fand.

Auch zeigten Paley und Olson (1975), dass bei ihrem Paradigma der Interferenzeffekt nur bedingt eintritt und schlossen daraus, dass die Interferenz von der relativen Verarbeitungsgeschwindigkeit der relevanten und irrelevanten Stimulusdimension abhängt. Insgesamt unterschied sich das von Paley und Olson verwendete Paradigma jedoch stark von jenem der gegenwärtigen Arbeit: Sie benutzten in ihrer Studie ausschließlich eine manuelle Response mit nur zwei Antwortmöglichkeiten („*beneath*“ und „*above*“ für die Position in Bezug auf eine horizontale Linie), für die sie nur durch Variation von Schriftgröße und

relativer Stimulusposition einen Interferenzeffekt hervorrufen konnten. Während Paley und Olson die verschiedenen Verarbeitungsgeschwindigkeiten des Schriftverständnisses und der Positionserkennung für den Interferenzeffekt verantwortlich sahen, zeigt Studie III allerdings, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeit für die Baselinebedingungen, nämlich das Benennen der Farbbalken und der Position des „XXXX“ Stimulus nicht unterscheiden. Dieser Befund spricht klar gegen die Annahme von Paley und Olson. Wäre die Verarbeitungsgeschwindigkeit der relevante Faktor, dürfte sich keine stärkere Interferenz beim klassischen Stroop Paradigma im Vergleich zum Position Stroop gezeigt haben, da ja die Baselinebedingungen nicht mit unterschiedlicher Geschwindigkeit verarbeitet wurden. Insgesamt stützt die aktuelle Studie also nicht die Theorie, dass unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeiten der Hauptgrund des Interferenzeffektes sind, was sich mit den Ergebnissen von Dunbar und MacLeod (1984) sowie der Schlussfolgerung in Macleods (1991) ausführlicher Literaturübersicht deckt.

3.3.3 Einschränkungen und Ausblick

Um den Unterschied zwischen den Ergebnissen hinsichtlich der Interferenz im manuellen Paradigma von Paley und Olson (1975) und jenen von Studie III zu untersuchen, wäre es notwendig, die Anzahl der Antwortmöglichkeiten zu variieren. Da dies in der vorliegenden Studie nicht untersucht wurde, wird weitere Forschung nötig sein, um den Grund für die Diskrepanz abschließend zu klären. Zur weiteren Untersuchung der Mechanismen der manuellen Responses wäre es notwendig gewesen, den Einfluss der Wortposition auf die Lesegeschwindigkeit beim Vorlesen des Positionswortes zu messen. Eine interessante Fragestellung für folgende

Studien ist, ob sich bei einer manuellen Response per Tastendruck ein Interferenzeffekt einstellt, wenn der non-verbale Stimulusaspekt (die Position) als Distraktor dient.

3.3.4 Fazit

Studie III hat gezeigt, dass der klassische Stroop Effekt ebenfalls in der räumlichen Dimension auftritt, wenn auch in geringerer Stärke als in der farblichen Dimension. Diese Erkenntnis impliziert, dass die Stärke des klassischen Stroop Effektes teilweise durch den gemeinsamen Verarbeitungspfad von Farb- und Wortbedeutung hervorgerufen wird und wirft Zweifel auf die relative Verarbeitungszeit als Erklärung für den klassischen Stroop Effekt. Hierbei soll angemerkt sein, dass die Studie auch keine Hinweise auf die Wirkung automatischer gegenüber vorsätzlicher Prozesse liefert, allerdings ebenso keine Indizien gegen diese Erklärung des Effektes. Eine wichtige Erkenntnis hingegen ist, dass der Effekt bei Weglassen der verbalen Komponente des Tests verschwindet.

Für die klinische Praxis bietet der Position Stroop Effekt interessante Anwendungsbereiche: So könnte eine Messung der Inhibitionsfähigkeit für Farb- und Rot-Grün-Blinde oder gänzlich Blinde mittels eines Stroop Paradigmas möglich werden, welche mit dem klassischen Paradigma unmöglich ist. Besonders die Verwendung von Brailleschrift in Verbindung mit ausgestanzten Stimuli stellt hier eine Variante dar, die vielfältige Optionen für weiterführende Studien bietet.

Insgesamt hebt die Studie die multiplen Facetten und die Beständigkeit des Stroop Effektes über verschiedene Stimulusdimensionen hervor und wirft

Licht auf einige der vielen Aspekte, die das Phänomen dieser Interferenz ausmachen.

4 Abschließende Diskussion

Die Serie der drei Studien widmete sich der Entwicklung und Diagnostik kognitiver Fähigkeiten mit Schwerpunkt auf Arbeitsgedächtnis und Inhibition. Es konnte gezeigt werden, dass die Entwicklung von Reasoning, Arbeitsgedächtnis und Inhibition monoton steigend verläuft und während der Grundschule keine Ausdifferenzierung im Sinne der (Alters-)Differenzierungshypothese zu beobachten ist. Auch wurde gezeigt, dass sowohl Reasoningfähigkeit als auch Arbeitsgedächtniskapazität als Prädiktoren der Mathematiknote dienen können, in Abhängigkeit vom Typus der Mathematikaufgaben.

Bezüglich der Differenzierungshypothese reiht sich die erste Untersuchung (Studie I) also in die Serie von Studien ein, welche diese nicht stützen können (O'Grady, 1990; Juan-Espinosa et al., 2000). Auffällig beim Vergleich der durchgeführten Untersuchung mit den Studien von Autoren, die ihre Befunde unterstützend im Sinne der Differenzierungshypothese interpretierten (Der & Deary, 2003; Tideman & Gustafsson, 2004), sind die Unterschiede in den untersuchten kognitiven Fähigkeiten und den hierzu eingesetzten diagnostischen Verfahren. Zudem bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich der untersuchten Altersgruppe. Da die Definition der in Studie I untersuchten kognitiven Fähigkeiten stark von den eingesetzten Paradigmen zur Messung dieser Fähigkeiten abhängt, wurden in den folgenden Studien zwei klassische, in der klinischen Neuropsychologie eingesetzte diagnostische Verfahren zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität respektive der Inhibitionsfähigkeit verwendet, die es möglich machen, die

involvierten kognitiven (Sub-)Prozesse zu isolieren und verschiedene Bearbeitungsstrategien zu analysieren.

Studie II beschäftigte sich mit der Arbeitsgedächtnisdiagnostik durch die Zahlenspanne Rückwärts, einem in der klinischen Neuropsychologie häufig eingesetzten Verfahren zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität. Es konnte gezeigt werden, dass unabhängig von der Stimulusmodalität sowohl verbale als auch visuelle Strategien zur Aufgabenbearbeitung verwendet werden können, was neues Licht auf sich widersprechende Befunde hinsichtlich der bei optischer vs. akustischer Stimuluspräsentation aktiven Gehirnareale wirft (Schumacher et al., 1996; Crottaz-Herbette et al., 2003). Im Licht der aktuellen Ergebnisse könnte die Diskrepanz der Befunde durch Vernachlässigung der Rolle kognitiver Strategien zu Stande gekommen sein.

Außerdem haben die Befunde von Studie II weitreichende Implikationen für die klinische Diagnostik und Therapie: Eine unterdurchschnittliche Leistung in der Zahlenspanne Rückwärts könnte mit der Wahl einer inadäquaten Verarbeitungsstrategie zusammenhängen statt mit einer globalen Arbeitsgedächtnisstörung. Zudem wäre ein Strategiewechsel eine mögliche therapeutische Option, falls eine Läsion vorhanden ist, die das mit der präferierten Verarbeitungsmodalität assoziierte Hirnareal betrifft. Weiter wurde gezeigt, dass die Zahlenspanne Rückwärts nur niedrige bis moderate Korrelationen mit einem Arbeitsgedächtnistest aufweist, der auf dem Arbeitsgedächtnismodell von Oberauer et al. (2000) aufbaut. Dieses Ergebnis stellt die Anwendung der Zahlenspanne Rückwärts als klinischen Arbeitsgedächtnistest in Frage und zeigt die Notwendigkeit weiterer Forschung zu dieser Aufgabe. Auch wird anhand der niedrigen Korrelation deutlich, wie

stark die Diagnostik kognitiver Fähigkeiten vom theoretischen Hintergrund des Arbeitsgedächtnismodells sowie auch vom gewählten experimentellen Paradigma abhängt.

Letztes gilt auch für die Diagnostik der Inhibitionsfähigkeit, welche in der dritten Studie (Studie III) analysiert wurde. Hierbei wurde das klassische Stroop Paradigma (Stroop, 1935) herangezogen, welches ebenfalls in der klinischen Diagnostik eingesetzt wird. Um die genaue Funktionsweise des Tests zu untersuchen, wurde ein selbstentwickelter Position Stroop Test eingesetzt und mit dem Farbe-Wort Interferenztest verglichen. Es zeigte sich, dass der Stroop Effekt auch bei Position-Wort-Interferenz auftritt, hier allerdings schwächer als in der klassischen Testform. Eine mögliche Erklärung liefern die kortikalen Areale, welche mit der Verarbeitung von räumlicher beziehungsweise farblicher Stimulusinformation assoziiert sind. Letzte überlappen sich teilweise mit den mit Sprache assoziierten Hirnarealen und die Interferenz innerhalb eines Verarbeitungspfades mit begrenzter Kapazität könnte zu einem „*Bottleneck*“¹⁰ führen, welches bei Verarbeitung in unabhängigen Verarbeitungspfaden nicht gegeben ist.

Zudem konnte durch die räumliche Version des Testes die sprachliche Komponente des Stroop Effektes isoliert werden, indem eine Testversion durchgeführt wurde, die an Stelle einer verbalen eine manuelle Reaktion verlangte. Diese Änderung führte zum Verschwinden des Interferenzeffektes und zeigte somit nochmals eindeutig, dass die mündliche Reaktion auf die Stimuli einen entscheidenden Faktor beim Stroop Phänomen darstellt. Auch liefern die beiden Ergebnisse weitere Argumente gegen die These, dass der

¹⁰ Als *Bottleneck* wird ein Engpass in der Informationsverarbeitung bezeichnet, bei dem die Verarbeitungskapazität nicht zur parallelen Verarbeitung aller eingehenden Information ausreicht.

Stroop Effekt durch Unterschiede in der relativen Arbeitsgeschwindigkeit der involvierten Prozesse zustande kommt wie von verschiedenen Autoren (e.g. Paley & Olson, 1975; Dyer, 1972; 1973) vermutet wurde.

Insgesamt wirft die vorliegende Arbeit Licht auf die Entwicklung von Arbeitsgedächtnis, Inhibition und deren Diagnostik mittels klassischer Paradigmen. Es wird gezeigt, dass die untersuchten kognitiven Fähigkeiten schon während ihrer Entwicklung miteinander eng verknüpft sind und ihre Diagnostik mit interindividuellen Unterschieden in präferierten Verarbeitungsstrategien wie Visualisierung und Verbalisierung, aber auch mit der Wahl der Responsemodalität zusammenhängt. Diese Erkenntnisse und Hinweise leisten einen wichtigen Beitrag zur Klärung der Bedeutung von Untersuchungsparadigmen für die klinische und nichtklinische Diagnostik sowie beim Vergleich wissenschaftlicher Arbeiten, welche losgelöst von ihrem theoretischen Rahmen und ohne Einbezug aller involvierten kognitiven Teilprozesse einen entscheidenden Anteil ihrer Aussagekraft verlieren.

Literatur

- Arnott, S. R., Grady, C. L., Hevenor, S. J., Graham, S., & Alain, C. (2005). The functional organization of auditory working memory as revealed by fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(5), 819–831.
- Asch, S. E. (1936). A study of change in mental organization. *Archives of Psychology*, 28, 1-30.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(1), 556–559.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & others.(1974). Working memory. *The Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47–89.
- Bäumler, G. (1985). *FWIT: Farbe-Wort-Interferenztest (nach Stroop, 1935)*. Goettingen: Hogrefe.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A Study in experimental and social Psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Bireta, T. J., Fry, S. E., Jalbert, A., Neath, I., Surprenant, A. M., Tehan, G., & Tolan, G. A. (2010). Backward recall and benchmark effects of working memory. *Memory &Cognition*, 38(3), 279–291.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, 10(1), 48–71.
- Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development*, 78(1), 246–263.
- Blair, C., Gamson, D., Thorne, S., & Baker, D. (2005). Rising mean IQ: Cognitive demand of mathematics education for young children, population exposure to formal schooling, and the neurobiology of the prefrontal cortex. *Intelligence*, 33(1), 93–106.
- Brunel, N., & Wang, X. J. (2001). Effects of neuromodulation in a cortical network model of object working memory dominated by recurrent inhibition. *Journal of Computational Neuroscience*, 11(1), 63–85.

- Bühner, M., Krumm, S., Ziegler, M., & Plücken, T. (2006). Cognitive abilities and their interplay: Reasoning, crystallized intelligence, working memory components, and sustained attention. *Journal of Individual Differences*, 27(2), 57–72.
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (1. Aufl.). München: Pearson.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273–293.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205–228.
- Bush, G., Frazier, J. A., Rauch, S. L., Seidman, L. J., Whalen, P. J., Jenike, M. A., Rosen, B. R., ... Biederman, J. (1999). Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the Counting Stroop. *Biological Psychiatry*, 45(12), 1542–1552.
- Cattell, J. M. (1886). The time it takes to see and name objects. *Mind*, (11), 63–65.
- Cerda, G., Ortega, R., P'erez, C., Flores, C., & Melipillán, R. (2011). Inteligencia lógica y rendimiento académico en matemáticas: un estudio con estudiantes de Educación Básica y Secundaria de Chile. *Anales de Psicología, Universidad de Murcia*, 27(2), 389–398.
- Cohen, G., & Martin, M. (1975). Hemisphere differences in an auditory Stroop test. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 17(1), 79–83.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- Cohn, N. B., Dustman, R. E., & Bradford, D. C. (1984). Age-related decrements in stroop color test performance. *Journal of Clinical Psychology*, 40(5), 1244–1250.
- Coltheart, M., Woollams, A., Kinoshita, S., Perry, C. (1999). A position-sensitive Stroop effect: Further evidence for a left-to-right component in print to speech conversion. *Psychometric Bulletin & Review*, 6(3), 456–463.
- Comalli Jr, P. E., Wapner, S., & Werner, H. (1962). Interference effects of Stroop color-word test in childhood, adulthood, and aging. *The Journal of Genetic Psychology*, 100(1), 47–53.

- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), 163–183.
- Cowan, N., Saults, J. S., & Brown, G. D. A. (2004). On the Auditory Modality Superiority Effect in Serial Recall: Separating Input and Output Factors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(3), 639–644.
- Crone, E. A., Wendelken, C., Donohue, S., Van Leijenhorst, L., & Bunge, S. A. (2006). Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), 9315–9320.
- Crottaz-Herbette, S., Anagnoson, R. T., & Menon, V. (2004). Modality effects in verbal working memory: differential prefrontal and parietal responses to auditory and visual stimuli. *Neuroimage*, 21(1), 340–351.
- Dalrymple-Alford, E. C., & Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual and Motor Skills*, 23(3f), 1211–1214.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078.
- Der, G., & Deary, I. J. (2003). IQ, reaction time and the differentiation hypothesis. *Intelligence*, 31(5), 491–503.
- Detterman, D. K., & Daniel, M. H. (1989). Correlations of mental tests with each other and with cognitive variables are highest for low IQ groups. *Intelligence*, 13(4), 349–359.
- Dodrill, C. B., & Troupin, A. S. (1977). Psychotropic effects of carbamazepine in epilepsy A double-blind comparison with phenytoin. *Neurology*, 27(11), 1023–1023.
- Dunbar, K., & MacLeod, C. M. (1984). A horse race of a different color: Stroop interference patterns with transformed words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 622.

- Dunn, G., Gaudia, L., Lowenherz, J., & Barnes, M. (1990). Effects of reversing digits forward and digits backward and strategy use on digit span performance. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 8(1), 22–33.
- Dyer, F. N. (1972). Latencies for movement naming with congruent and incongruent word stimuli. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 11(5), 377–380.
- Dyer, F. N. (1973). The Stroop phenomenon and its use in the study of perceptual, cognitive, and response processes. *Memory & Cognition*, 1(2), 106–120.
- Engle, R. W., & Roberts, J. S. (1982). How long does the modality effect persist. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 19(6), 343–346.
- Facon, B. (2006). Does age moderate the effect of IQ on the differentiation of cognitive abilities during childhood? *Intelligence*, 34(4), 375–386.
- Filella, J. F. (1960). Educational and sex differences in the organization of abilities in technical and academic students in Colombia, South America. *Genetic Psychology Monographs*, 61, 115–163.
- Fisseni, H. J. (1997). Lehrbuch der psychologischen Diagnostik (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Garrett, H. E. (1946). A developmental theory of intelligence. *American Psychologist*, 1(9), 372.
- Gumenik, W. E., & Glass, R. (1970). Effects of reducing the readability of the words in the Stroop Color-Word Test. *Psychonomic Science*, 20(4), 247–248.
- Hilger, E., & Kasper, S. (2002). Kognitive Symptomatik bei schizophrener Erkrankung: Diagnostik und Pharmakotherapie. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 3(4), 17–22.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1966). Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology*, 57(5), 253.
- Hoshi, Y., Oda, I., Wada, Y., Ito, Y., Yamashita, Y., Oda, M., Ohta, K., u. a. (2000). Visuospatial imagery is a fruitful strategy for the digit span backward task: a study with near-infrared optical tomography. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 339–342.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15(1), 63–73.

- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829.
- Juan-Espinosa, M., García, L. F., Colom, R., & Abad, F. J. (2000). Testing the age related differentiation hypothesis through the Wechsler's scales. *Personality and Individual Differences*, 29(6), 1069–1075.
- Kane, M. J., Blackley K. B., Conway, A. R. A., & Engle R. W. (2001). A Controlled-Attention View of Working Memory Capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169–183.
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. H. (2007). Working memory, attention control, and the n-back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 615–622.
- Kirby, J. R., Moore, P. J., & Schofield, N. J. (1988). Verbal and visual learning styles. *Contemporary Educational Psychology*, 13(2), 169–184.
- Kubinger, K. D., Rasch, D., & Moder, K. (2009). Zur Legende der Voraussetzungen des t-Tests für unabhängige Stichproben. *Psychologische Rundschau*, 60(1), 26–27.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, 14(4), 389–433.
- Levin, H. S., Culhane, K. A., Hartmann, J., Evankovich, K., Mattson, A. J., Harward, H., Ringholz, G., ... Fletcher, J. M. (1991). Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Developmental Neuropsychology*, 7(3), 377–395.
- Liepmann, D., Beauducel, A., Brocke, B., & Amthauer, R. (2007). *Intelligenz-Struktur-Test 2000 R (extended Edition)*. Göttingen: Hogrefe.
- Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez III, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38(5), 701–711.
- Liu, X., Banich, M. T., Jacobson, B. L., & Tanabe, J. L. (2004). Common and distinct neural substrates of attentional control in an integrated Simon and spatial Stroop task as assessed by event-related fMRI. *NeuroImage*, 22(3), 1097–1106.
- Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 174–207.

- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163.
- MacLeod, C. M. (1992). The Stroop task: The „gold standard“ of attentional measures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(1), 12.
- McCall, R. B. (1994). What process mediates predictions of childhood IQ from infant habituation and recognition memory? Speculations on the roles of inhibition and rate of information processing. *Intelligence*, 18(2), 107–125.
- McDowell, S., Whyte, J., & D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury: Evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, 35(10), 1341–1353.
- Mcewan, R. C., & Reynolds, S. (2007). Verbalisers and Visualisers: Cognitive Styles that are less than equal. *Disability Services, Counselling and Students Life*, Fanshawe College, Canada.
- Meier, B. P., & Robinson, M. D. (2004). Why the Sunny Side Is Up: Associations Between Affect and Vertical Position. *Psychological Science*, 15(4), 243–247.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414–417.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. New York: Cambridge University Press.
- O'Grady, K. E. (1990). A confirmatory maximum likelihood factor analysis of the WPPSI. *Personality and Individual Differences*, 11(2), 135–140.
- Oberauer, K., Süß, H. M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity—facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29(6), 1017–1045.
- Oberauer, K., Süß, H. M., Wilhelm, O., & Wittman, W. W. (2003). The multiple faces of working memory: Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, 31(2), 167–193.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25(1), 46–59.
- Paivio, A. (1971). Imagery and verbal processes. New York: Holt.

- Palef, S. R., & Olson, D. R. (1975). Spatial and verbal rivalry in a Stroop-like task. *Canadian Journal of Psychology*, 29(3), 201.
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2001). Short-Term Memory, Working Memory, and Inhibitory Control in Children with Difficulties in Arithmetic Problem Solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(1), 44–57.
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition*, 17(4), 398–422.
- Petermann, F., & Toussaint, A. (2009). Neuropsychologische Diagnostik bei Kindern mit ADHS. *Kindheit und Entwicklung*, 18(2), 83–94.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception and Psychophysics*, 16(2), 283–290.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25.
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110–122.
- Ramsay, M. C., & Reynolds, C. R. (1995). Separate digits tests: A brief history, a literature review, and a reexamination of the factor structure of the Test of Memory and Learning (TOMAL). *Neuropsychology Review*, 5(3), 151–171.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (2000). *Standard Progressive Matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Rayner, S., & Riding, R. (1997). Towards a categorisation of cognitive styles and learning styles. *Educational Psychology*, 17(1-2), 5–27.
- Ridderinkhof, R. K., PH Band, G., & D Logan, G. (1999). A study of adaptive behavior: Effects of age and irrelevant information on the ability to inhibit one's actions. *Acta Psychologica*, 101(2), 315–337.
- Riding, R., & Cheema, I. (1991). Cognitive styles—an overview and integration. *Educational Psychology*, 11(3-4), 193–215.
- Riding, R. J., & Pearson, F. (1994). The relationship between cognitive style and intelligence. *Educational Psychology*, 14(4), 413–425.
- Schmidt-Atzert, L., Bühner, M., & Enders, P. (2006). Messen Konzentrationstests Konzentration? *Diagnostica*, 52(1), 33–44.

- Schumacher, E. H., Lauber, E., Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., & others. (1996). PET evidence for an amodal verbal working memory system. *NeuroImage*, 3(2), 79–88.
- Schweizer, K., & Moosbrugger, H. (2004). Attention and working memory as predictors of intelligence. *Intelligence*, 32(4), 329–347.
- Shor, R. E. (1970). The processing of conceptual information on spatial directions from pictorial and linguistic symbols. *Acta Psychologica*, 32, 346–365.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 973–980.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(20), 8410–8413.
- Spearman, C. (1926). *Some issues in the theory of "G"* (including the law of diminishing returns). Paper presented at the British Association Section J-Psychology, Southampton.
- Stanovich, K. E., Cunningham, A. E., & Feeman, D. J. (1984). Intelligence, cognitive skills, and early reading progress. *Reading Research Quarterly*, 278–303.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6), 643.
- Suchan, B., Linnewerth, B., Köster, O., Daum, I., & Schmid, G. (2006). Cross-modal processing in auditory and visual working memory. *NeuroImage*, 29(3), 853–858.
- Swordlow, N. R., Paulsen, J., Braff, D. L., Butters, N., Geyer, M. A., & Swenson, M. R. (1995). Impaired prepulse inhibition of acoustic and tactile startle response in patients with Huntington's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 58(2), 192–200.
- Tewes, U. (1991). *HAWIE-R. Hamburg-Wechsler Intelligenztest für Erwachsene Revision 1991*. Bern: Huber.
- Tideman, E., & Gustafsson, J. E. (2004). Age-related differentiation of cognitive abilities in ages 3-7. *Personality and Individual Differences*, 36(8), 1965–1974.
- Tucker-Drob, E. M. (2009). Differentiation of cognitive abilities across the life span. *Developmental Psychology*, 45(4), 1097.

- White, B. W. (1969). Interference in identifying attributes and attribute names. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 6(3), 166–168.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In Nickerson, R. S. *Attention and Performance VIII*, 239–258. Hillsdale: Erlbaum.
- Wilson, K. M., & Swanson, H. L. (2001). Are mathematics disabilities due to a domain-general or a domain-specific working memory deficit? *Journal of Learning Disabilities*, 34(3), 237–248.

Appendix A: Fragebogen kognitiver Strategien

Versuchspersonencode:

Bitte beschreiben Sie bestmöglich wie Sie sich die Zahlen gemerkt haben.

Waren manche Zahlen leichter zu merken als andere? Wenn ja, welche Zahlen waren dies und wieso waren sie leichter zu merken?

Versuchspersonencode:

Haben sie eine der folgenden Strategien genutzt?

☐ **Visualisieren** (Bildliches Vorstellen der Zahlen im Kopf)

☐ Hierbei gruppieren von Zahlen (haben Sie mehrere Zahlen zu einer Gruppe verbunden?)

☐ Hierbei bilden persönlicher Assoziationen (haben Sie Zahlen logisch oder semantisch verknüpft?)

☐ **Verbalisieren** (Stilles Wiederholen der Zahlen im Kopf)

☐ Hierbei gruppieren von Zahlen (haben Sie mehrere Zahlen zu einer Gruppe verbunden?)

☐ Hierbei bilden persönlicher Assoziationen (haben Sie Zahlen logisch oder semantisch verknüpft?)

☐ **Andere Strategie:** _____

☐ **Keine**

Wenn Sie eine der Auswahlmöglichkeiten nicht einordnen können, fragen Sie bitte die Versuchsleitung

Welche der folgenden Strategie haben sie stärker angewendet?

☐ Visualisieren oder ☐ Verbalisieren? (Bitte entscheiden Sie sich auch wenn die Tendenz gering ist)

Falls Sie eine bestimmte Strategie angewendet haben, beschreiben Sie bitte möglichst genau wie Sie dies getan haben.

Appendix B: Materialien Differenzierungshypothese

Untersuchungsmaterial



November 2010

Liebe Eltern!

Im Rahmen unserer Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz führen wir unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. Markus Bühner eine wissenschaftliche Studie zum Thema „Persönlichkeit, Verarbeitungsstrategien und Schulleistungen“ durch und bitte Sie um die Teilnahme Ihres Kind an dieser Studie.

Wir legen Wert darauf, die Durchführung für ihr Kind so angenehm wie möglich zu gestalten und Ihr Kind hat die Möglichkeit jederzeit ohne Angaben von Gründen abzubrechen. **Als Dankeschön** für die Teilnahme geben wir Ihrem Kind auch eine **kleine Belohnung**. Zusätzlich hat Ihr Kind die Möglichkeit an einer **Verlosung** unter allen SchülerInnen teilzunehmen, wobei kein Name verwendet wird, sondern lediglich ein Fragebogenscode und die Klassenstufe zu Orientierung, um die Anonymität Ihres Kindes zu gewähren. Zu **gewinnen gibt es ein Brettspiel**.

Alle Angaben und Daten, die wir von Ihnen und von Ihrem Kind bekommen, werden selbstverständlich anonym behandelt und nur für diese Studie verwendet. Dafür bitten wir Sie auch das beiliegende Blatt mit dem Fragebogenscode auszufüllen. Alle notwendigen Schritte sind dafür auf dem Blatt genau beschrieben.

Weiteres bitten wir Sie auch die beiden beiliegenden Fragebögen vollständig auszufüllen und in den dafür bereitgestellten Briefumschlag zu geben und anschließend zu verschließen, damit die Daten anonym bleiben.

Die Einverständniserklärung selbst gehört NICHT in den Briefumschlag. Bitte lesen sie diese auch genau durch, da alle Informationen zu der Studie und deren Durchführung dort beschrieben werden.

Falls Sie nicht an der Teilnahme an unserer Studie interessiert sind, wären wir Ihnen dankbar den unausgefüllten Fragebogen Ihrem Kind in die Schule wieder mitzugeben.

Zuletzt bitten wir Sie die **Einverständniserklärung und den Briefumschlag mit den Fragebögen** Ihrem Kind bis spätestens **15.11.2010**, in die Schule mit zu geben.

Vielen Dank fürs Mitmachen!

Prutsch Patricia
Kornberger Isabella

Institut für Psychologie

Leitung: Univ. Prof. Dr. Markus Bühner
Telefonnr.: ++43 (0) 316 / 380-5081
Universitätsplatz 2/ DG, 8010 Graz

Durchführung der Studie:

Patricia Prutsch , 0664/ 5367033, Patriciasimone.prutsch@edu.uni-graz.at
Isabella Kornberger , 0650/4100635, Isabella.kornberger@edu.uni-graz.at

Karl-Franzens-Universität Graz

Institut für Psychologie

Univ. Prof. Dr. Markus Bühner

Universitätsplatz 2/DG, 8010 Graz

Tel.: 0316/380-5081



EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG

Liebe Eltern!

Im Rahmen unserer Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz führen wir unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. Markus Bühner eine wissenschaftliche Studie durch und bitten Sie um die Teilnahme Ihres Kindes an dieser Studie.

Ziel der Untersuchung ist, herauszufinden, inwieweit Persönlichkeitsmerkmale, wie z.B. Offenheit für neue Erfahrungen, bzw. kognitive Verarbeitungsstrategien sich auf die Schulleistung auswirken. Um diese Fragestellungen zu klären, ersuchen wir Sie um eine **einmalige Teilnahme Ihres Kindes** an unserer Untersuchung und bitten Sie die **beiliegenden Fragebögen auszufüllen**. Die Untersuchung erfolgt im Klassenraum, zusammen mit den anderen SchülerInnen, die an der Studie teilnehmen und **dauert 1,5 - 2 Unterrichtsstunden (inklusive Pause)**. Ihrem Kind werden in dieser Zeit 5 psychologische Testverfahren (Papier und Bleistift-Tests) vorgegeben.

Da wir nur die Ergebnisse Ihres Kindes verwenden können, wenn Sie auch die **beiden beiliegenden Fragebögen ausgefüllt** haben, bitten wir Sie diese Fragebögen auszufüllen und diese anschließend in den **dafür bereitgestellten Briefumschlag zu geben und** diesen auch zu **verschließen**, um Ihre Anonymität und die Ihres Kindes gewährt zu leisten. Der erste Fragebogen bezieht sich auf allgemeine Fragen, die für die Studie relevant sind, sowie die Schulleistung(Noten) Ihres Kindes. Mit dem zweiten Fragebogen erfragen wir Angaben, wie Sie Ihr Kind einschätzen.

Die Teilnahme an dieser Untersuchung ist für Ihr Kind **freiwillig** und kann auch jederzeit ohne Angaben von Gründen auf Wunsch Ihres Kindes abgebrochen werden.

Wir möchten Sie darauf hinweisen, dass Ihre Daten und die Ihres Kindes **anonym** behandelt werden und ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken dienen. Die wissenschaftliche Verwertung Ihrer Daten und die Ihres Kindes erfolgen auf elektronischer Basis, wobei Ihre Daten und die des Kindes nicht namensbezogen gespeichert werden, sondern unter einem **Fragebogenscode** für Ihr Kind und auch nur für diese Untersuchung. Der Name Ihres Kindes wird aus diesem Grund auch nicht erhoben. Die Ergebnisse werden in zusammengefasster Form ausgewertet, sodass auf Einzelpersonen nicht rückgeschlossen werden kann.

Wenn Sie am allgemeinen Untersuchungsergebnis interessiert sind bzw. weitere Fragen bezüglich der Untersuchung an uns haben, schreiben Sie uns bitte eine E-Mail oder rufen uns an. Die Kontaktdaten finden Sie auf dem für Sie persönlichen Beiblatt. Eine Rückmeldung der persönlichen Ergebnisse Ihres Kindes können wir Ihnen leider nicht geben.

Wir bitten Sie an dieser Stelle um eine Unterschrift, mit der Sie sich Einverstanden erklären, dass Ihr Kind, unter den soeben genannten Vorgehensweisen, an der Studie teilnimmt.

Datum

Unterschrift

Fragebogen für die Eltern:

Fragebogen für die Mutter (von den Eltern auszufüllen):

1. Meine höchste abgeschlossene Schulausbildung ist (nur eine Antwort möglich)

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> ich habe keinen Schulabschluss | <input type="checkbox"/> Hauptschulabschluss | <input type="checkbox"/> Polytechnikum |
| <input type="checkbox"/> Matura | <input type="checkbox"/> Kolleg oder Akademie | |
| <input type="checkbox"/> Fachhochschule (zB FH Joanneum) | <input type="checkbox"/> Universitätsabschluss | |

2. Ich bin

- ☐ berufstätig, als..... ☐ nicht berufstätig

3. Welche Berufsausbildung haben Sie abgeschlossen?

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> ich habe keine Berufsausbildung | <input type="checkbox"/> ich habe eine Lehre gemacht |
| <input type="checkbox"/> ich habe eine Meisterprüfung | <input type="checkbox"/> ich habe einen Fachschulabschluss |
| <input type="checkbox"/> ich habe einen Abschluss an einem Kolleg oder einer Akademie | |
| <input type="checkbox"/> ich habe einen Universitätsabschluss | <input type="checkbox"/> ich habe einen Fachhochschulabschluss |
| <input type="checkbox"/> Promotion | <input type="checkbox"/> Habilitation |

4. Familienstand:

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> ich bin ledig | <input type="checkbox"/> ich lebe in einer Partnerschaft | <input type="checkbox"/> ich bin verheiratet |
| <input type="checkbox"/> ich bin geschieden | <input type="checkbox"/> verwitwet | |

5. Ich lebe mit dem Vater des Kindes zusammen.

- ☐ ja ☐ nein

Fragebogen für den Vater (von den Eltern auszufüllen):**1. Meine höchste abgeschlossene Schulausbildung ist (nur eine Antwort möglich)**

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> ich habe keinen Schulabschluss | <input type="checkbox"/> Hauptschulabschluss | <input type="checkbox"/> Polytechnikum |
| <input type="checkbox"/> Matura | <input type="checkbox"/> Kolleg oder Akademie | |
| <input type="checkbox"/> Fachhochschule (zB FH Joanneum) | <input type="checkbox"/> Universitätsabschluss | |

2. Ich bin

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> berufstätig, als..... | <input type="checkbox"/> nicht berufstätig |
|--|--|

3. Welche Berufsausbildung haben Sie abgeschlossen?

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> ich habe keine Berufsausbildung | <input type="checkbox"/> ich habe eine Lehre gemacht |
| <input type="checkbox"/> ich habe eine Meisterprüfung | <input type="checkbox"/> ich habe einen Fachschulabschluss |
| <input type="checkbox"/> ich habe einen Abschluss an einem Kolleg oder einer Akademie | |
| <input type="checkbox"/> ich habe einen Universitätsabschluss | <input type="checkbox"/> ich habe einen Fachhochschulabschluss |
| <input type="checkbox"/> Promotion | <input type="checkbox"/> Habilitation |

4. Familienstand:

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> ich bin ledig | <input type="checkbox"/> ich lebe in einer Partnerschaft | <input type="checkbox"/> ich bin verheiratet |
| <input type="checkbox"/> ich bin geschieden | <input type="checkbox"/> verwitwet | |

5. Ich lebe mit der Mutter des Kindes zusammen.

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
|-----------------------------|-------------------------------|

Allgemeiner Fragebogen (von den Eltern auszufüllen):

1. Geschlecht meines Kindes ist

☐ weiblich ☐ männlich

2. Geburtsdatum meines Kindes:

3. Hat Ihr Kind schon einmal eine Klasse wiederholt?

☐ ja ☐ nein

4. Hat Ihr Kind einen Kindergarten besucht?

☐ ja ☐ nein

5. Wie viele Stunden verbringt Ihr Kind am Tag mit Fernsehen?:Stunde(n)

6. Kreuzen Sie bitte an, wie oft Ihr Kind die unten angeführten Filme/Sendungen ansieht.

	nie	selten	manchmal	oft	sehr oft
	1	3	4	5	7
Zeichentrickfilme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Märchen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
lustige Filme (Komödien)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Talk-Shows	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fantasyfilme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissenssendungen (Universum, Galileo etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschichtssendungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nachrichten/Politik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ratesendungen, bei denen man Anrufen und etwas gewinnen kann	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
jugendfreie Filme, die eigentlich nur für Erwachsene gedacht sind	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musikvideos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Krimis und Actionfilme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gewaltfilme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Horrorfilme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, nämlich.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Kreuzen Sie bitte an, wie oft Ihr Kind die unten angeführten Aktivitäten in seiner Freizeit macht.

	nie	selten	manchmal	oft	sehr oft
	1	3	4	5	7
Lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freunde treffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Computer spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mit meiner Familie etwas unternehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
knifflige Rätsel lösen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
faulenzten, herumhängen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kino gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Malen/Basteln	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brettspiele (z.B. Schach, Monopoly etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Konstruktionsspiele (z.B. Tangram)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freizeitparks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Experimentierkasten/Naturwissenschaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bibliotheksbesuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Kreuzen Sie bitte an, wie oft Ihr Kind die unten angeführten Arten von Büchern liest.

	nie	selten	manchmal	oft	sehr oft
	1	3	4	5	7
Comics (z.B. Mickey Maus Magazin)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bilderbuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lexikon oder Kinderlexikon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taschenbuch (z.B. Lustiges Taschenbuch)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Liederbuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abenteuerbuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Krimibuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Märchenbuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissensbuch (z.B. über Dinosaurier, Tiere, Autos, Pflanzen,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschichte-Buch (z.B. Wissen über die Zeit der Pharaonen, Römer, Ritter,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lehrbuch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Liebesgeschichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Horrorgeschichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, nämlich.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Wie viele Stunden verbringt Ihr Kind während der Schulwoche mit Lesen?

.....Stunde(n)

10. Wie viel Wert legen Sie auf Bildung?

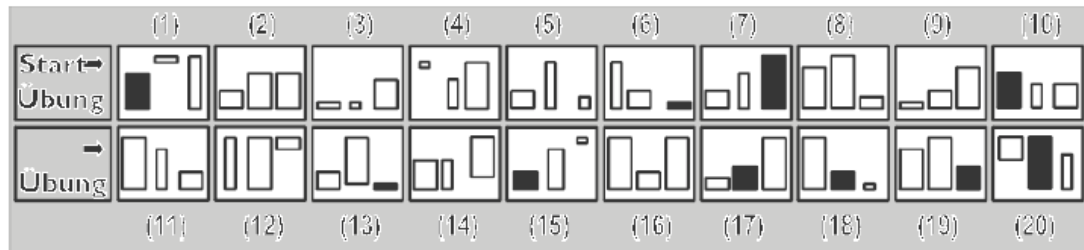
(damit ist gemeint: Lesen von anspruchsvollen Büchern, Besuch von Museen, Theater, Oper oder berühmten Baudenkmälern, Dokumentationsfilme...)

- ☐ es wird in meiner Familie extrem viel mehr Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie sehr viel mehr Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie viel mehr Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie mehr Wert auf Bildung wie die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie gleich viel Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie weniger Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt
- ☐ es wird in meiner Familie viel weniger Wert auf Bildung als die Durchschnittsbevölkerung gelegt

11. Welche Noten hatte ihr Kind im letzten Jahreszeugnis (2009/10) in den unten genannten Fächern?

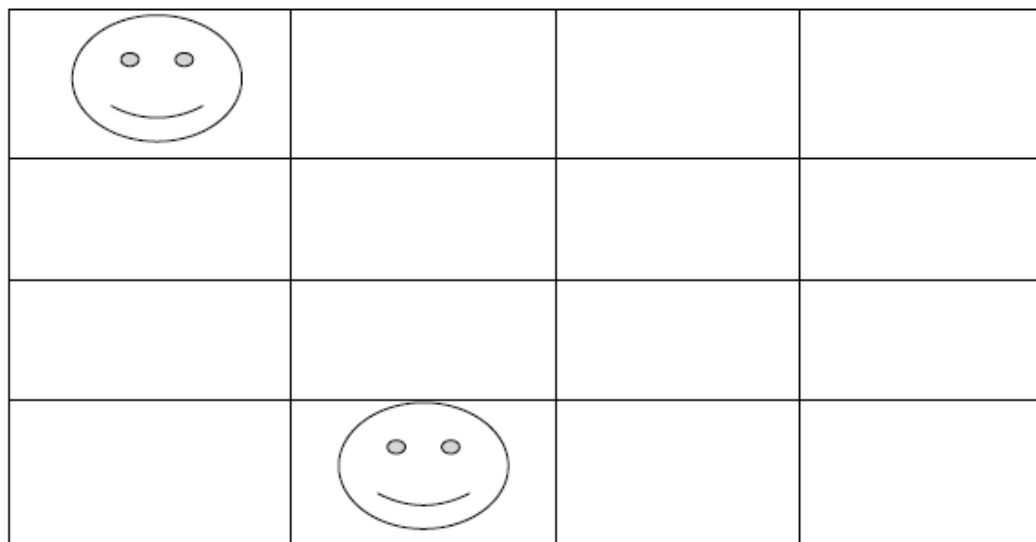
	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Genügend	Nicht Genügend
	Note: 1	Note: 2	Note: 3	Note: 4	Note: 5
1. Deutsch, Lesen, (Schreiben)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mathematik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Sachunterricht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Zeichnen/Malen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Turnen/Leibesübungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Religion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Werken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Musik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beispiel des TEMEKKO



Beispiel des Arbeitsgedächtnistests

Merkvorlage:

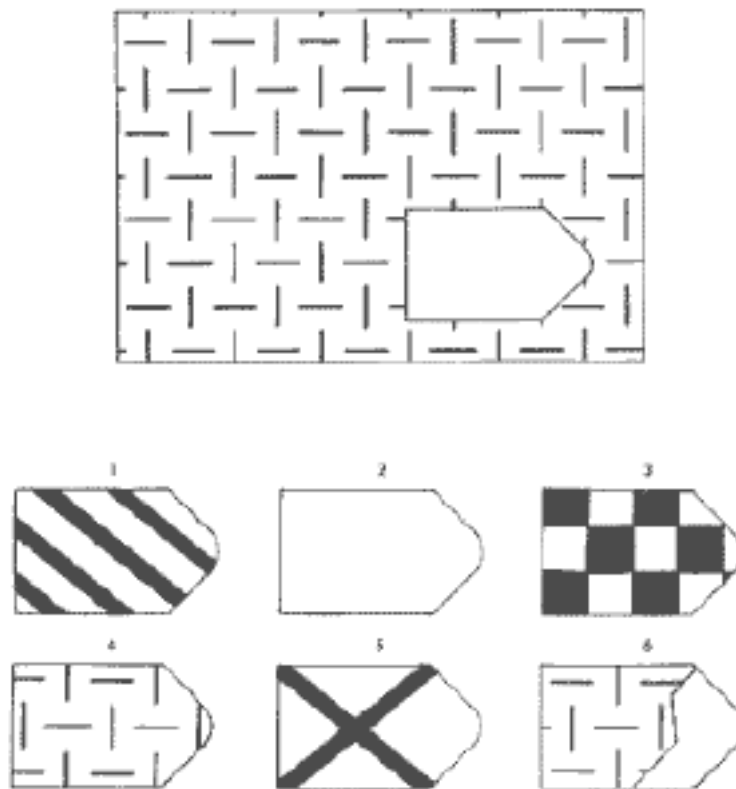


Antwortvorlage:

Die Frage 1. ist:



Bitte zeichne hier die Smileys ein:

Beispiel des SPM

Appendix C: Fragebogen Position Stroop

Department Psychologie

- Lehrstuhl Methodenlehre und Diagnostik -

_____ **LMU**
Ludwig_____
Maximilians-_____
Universität_____
München_____

Alter: _____

Studiengang/berufliche Ausbildung: _____

Geschlecht:

☐

männlich

☐

weiblich

Händigkeit:

☐

rechtshändig

☐

linkshändig

Muttersprache: _____

Haben Sie eine Lese- oder Rechtschreibschwäche?

Ja ☐ nein ☐

Haben Sie Schwierigkeiten bei der Zuordnung von links und rechts?

Ja ☐ nein ☐

Haben Sie Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung und dem Erkennen von
Farben? (z. B. rot-grün-Schwäche, Achromatopsie)

Ja ☐ nein ☐

Falls ja, welche? _____

Ist bei Ihnen eine neurologische Erkrankung bekannt?

(z. B. Epilepsie, Multiple Sklerose?)

Ja ☐ nein ☐

Falls ja, welche? _____

Nehmen Sie Medikamente?

Ja ☐ nein ☐

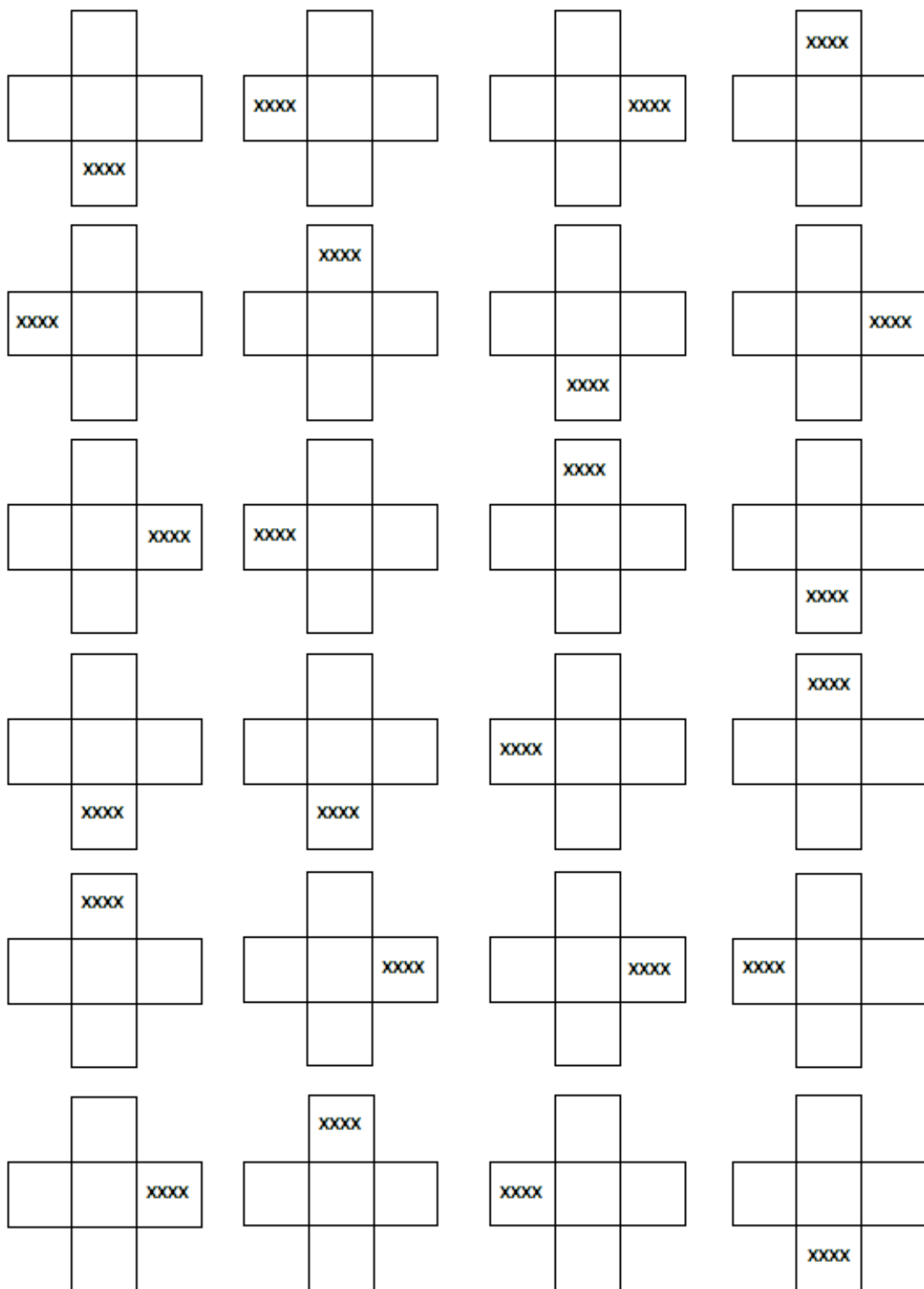
Falls ja, welche? _____

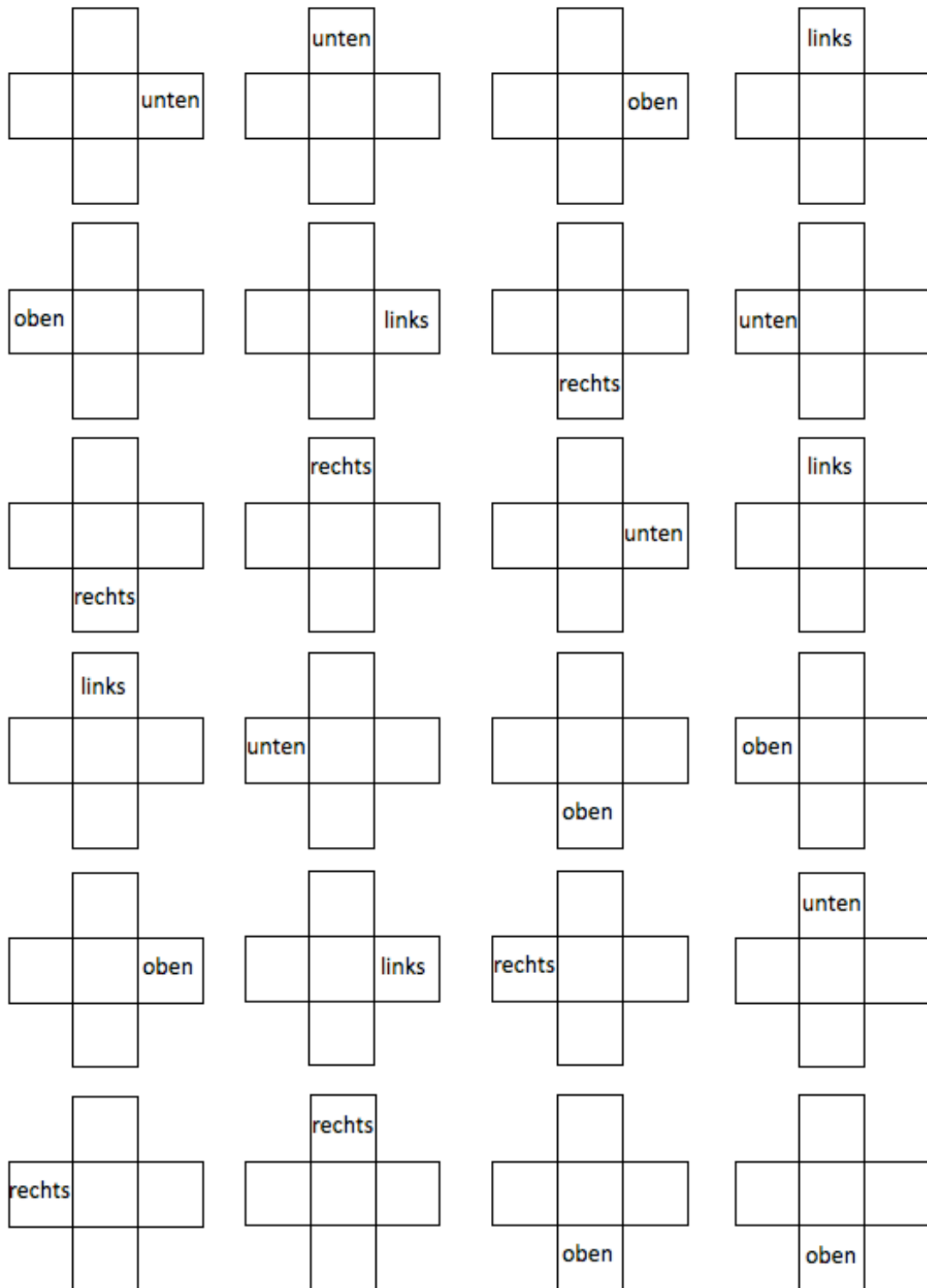
Versuchspersonencode:

Appendix D: Stroop Testverfahren

Lesebedingung Position Stroop

links	unten	oben	unten
oben	rechts	links	rechts
rechts	oben	rechts	links
oben	links	unten	unten
unten	unten	links	oben
rechts	links	oben	unten
links	unten	rechts	rechts
oben	rechts	oben	links

Baselinebedingung Position Stroop

Interferenzbedingung Position Stroop

Beispiel Lesebedingung Farbe Stroop

rot grün gelb blau grün gelb

Beispiel Baselinebedingung Farbe Stroop**Beispiel Interferenzbedingung Farbe Stroop**

rot grün gelb blau grün gelb

Appendix E: Tests auf Normalverteilung und Sphärizität

Tests auf Sphärizität Varianzanalysen mit Messwiederholung Studie III

	$W_{Mauchly}$	p_W	ϵ_{G-G}	p_ϵ
Farbe Stroop	.87	< .05	.88	< .01
Position Stroop	.84	< .05	.86	< .01
Position Stroop digital	.934	n. s.	-	-

$W_{Mauchly}$ = W nach Mauchly; p_W = Überschreitungswahrscheinlichkeit Sphärizitätsannahme; ϵ_{G-G} = Epsilon nach Greenhouse-Geißer; p_ϵ = Überschreitungswahrscheinlichkeit Messwiederholungseffekt, korrigiert nach ϵ_{G-G}

Tests auf Normalverteilung Studie I

	SPM	AGT	TEMEKKO	Mathematiknote
n	244	244	244	230
Z	1.15	2.67	1.16	5.23
p	n.s.	< .01.	n.s.	< .01

n = Stichprobengröße; Z = Kolmogorov-Smirnoffs Z ; p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

Tests auf Normalverteilung Studie II

	Verbal	Visuell	Verbal DT	Visuell DT
n	115	115	115	115
Z	.52	.76	1.17	.79
p	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n = Stichprobengröße; Z = Kolmogorov-Smirnoffs Z ; p = Überschreitungswahrscheinlichkeit ; ST = Single-Task; DT = Dual-Task

	ST-DT vis	ST-DT verb	Gesamt	AG	Reasoning
<i>n</i>	115	115	115	111	115
<i>Z</i>	1.56	.74	1.29	1.51	.84
<i>p</i>	< .01	n.s.	n.s.	< .05	n.s.

n = Stichprobengröße; *Z* = Kolmogorov-Smirnoffs *Z*;
p = Überschreitungswahrscheinlichkeit ; SD-DT = Leistungsabfall von Single- zu Dual-
Task; vis = visuell; verb = verbal; Gesamt = Gesamtleistung Zahlenspanne;
AG = Arbeitsgedächtnis

Tests auf Normalverteilung Studie III

	Position Stroop			
	Wörter	XXXX	Interferenz	Index
<i>n</i>	54	54	54	54
<i>Z</i>	.52	.76	1.17	.79
<i>p</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n = Stichprobengröße; *Z* = Kolmogorov-Smirnoffs *Z*;
p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

	Farbe Stroop			
	Wörter	Balken	Interferenz	Index
<i>n</i>	54	54	54	54
<i>Z</i>	.84	1.56	.74	1.29
<i>p</i>	n.s.	< .05	n.s.	n.s.

n = Stichprobengröße; *Z* = Kolmogorov-Smirnoffs *Z*;
p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

	Digitaler Position Stroop		
	XXXX	Kongruent	Inkongruent
<i>n</i>	54	54	54
<i>Z</i>	1.07	1.71	1.95
<i>p</i>	n.s.	< .05	< .01

n = Stichprobengröße; *Z* = Kolmogorov-Smirnoffs *Z*;
p = Überschreitungswahrscheinlichkeit